



## XX лет Союзу маркшейдеров России



### Уважаемые маркшейдеры, члены Союза маркшейдеров России и читатели журнала «Маркшейдерский вестник»!

25 мая 1995 года III Всероссийский съезд маркшейдеров (ВСМ) принял решение о создании Общероссийской общественной организации – СОЮЗА МАРКШЕЙДЕРОВ РОССИИ.

Пункт 4 Решения III ВСМ гласит:

«4. С целью проведения единой научно-технической политики в области маркшейдерского дела, повышения эффективности использования природных ресурсов в национальных интересах, защиты экономических, юридических и социальных прав и гражданских свобод маркшейдеров – учредить общественную организацию – «Союз маркшейдеров России».

ЦС СМР ПОСТАНОВИЛ:

- датой создания СМР считать **25 мая 1995 г.**;
- широко отметить 10-летний юбилей СМР;
- созвать юбилейный VII ВСМ в актовом зале МГГУ в период с 17 по 22 октября 2005 г.

(Протокол №1 от 23.09.2004 г.  
заседания Оргкомитета съезда)



Делегаты VII Всероссийского съезда маркшейдеров (ВСМ), посвященного 10-летию юбилею Союза маркшейдеров России, перед фасадом МГГУ (18 октября 2005 г.)

Журнал издается 23-й год (с 1992 г.) и продолжает традиции периодических научно-технических изданий по маркшейдерскому делу, выходявших в России и СССР в 1910-1936 гг.

Издатель – **ОАО «ГИПРОЦВЕТМЕТ»**  
Генеральный директор, к.ю.н.  
**Попов Роман Владимирович**

Председатель Редсовета, д.т.н., проф.,  
Академик АГН  
**Иофис Михаил Абрамович**

#### Члены Редсовета:

<b>Гальянов А.В.</b>	<b>Кузьмин Ю.О.</b>
<b>Глейзер В.И.</b>	<b>Макаров Б.Л.</b>
<b>Гордеев В.А.</b>	<b>Милетенко Н.А.</b>
<b>Грицков В.В.</b>	<b>Навитный А.М.</b>
<b>Гусев В.Н.</b>	<b>Охотин А.Л.</b>
<b>Загибалов А.В.</b>	<b>Трубчанинов А.Д.</b>
<b>Зимич В.С.</b>	<b>Черепнов А.Н.</b>
<b>Зыков В.С.</b>	<b>Шадрин М.А.</b>
<b>Калинченко В.М.</b>	<b>Юнаков Ю.Л.</b>
<b>Кашников Ю.А.</b>	

#### Редакция:

Главный редактор  
**КАПИТОНОВ Сергей Иванович**  
тел.8-916-919-82-71

Зам.главного редактора и корректор  
**НИКИФОРОВА Ирина Львовна**  
тел.8-926-247-32-51

Технический редактор  
**МОЛОДЫХ Ирина Валерьевна**

Адрес: 129515, Москва, а/я №51 –  
«Гипроцветмет»–МВ,  
ул.Акад.Королева, 13, стр.1 оф.607

Тел/факс: (495) 616-95-55-МВ  
Тел. (495) 600-32-00 доб.14-19  
E-mail: [office@giprocm.ru](mailto:office@giprocm.ru);  
<http://www.giprocm.ru>

Выходит 6 номеров в год.  
Регистрационное свидетельство  
Министерства печати и информации  
РФ №0110858 от 29 июня 1993 г.

Отпечатано в типографии «П-Центр»  
Формат А4, тираж 990 экз.,  
усл. печ. л. 8,0

Подписано в печать 21.09.2015 г.

Индексы в каталогах:  
Агентства Роспечати 71675,  
Пресса России 90949,  
Урал-Пресс 71675

В течение года можно оформить  
подписку на журнал через редакцию

За точность приведенных сведений и  
содержание данных, не подлежащих  
открытой публикации, несут ответст-  
венность авторы.

Мнения авторов могут не совпадать с  
мнением редакции.  
Рукописи не возвращаются!

Ордена им.В.Н.Татищева «За пользу Отечеству»  
НТиП журнал

# МВ АРКШЕЙДЕРСКИЙ ВЕСТНИК

№5 (108), сентябрь – октябрь, 2015 г.

Учредители:  
**СОЮЗ МАРКШЕЙДЕРОВ РОССИИ**  
**СОЮЗ ЗОЛОТОПРОМЫШЛЕННИКОВ**  
**ГИПРОЦВЕТМЕТ**

Журнал входит в перечень  
ведущих научных изданий ВАК  
Минобразования и науки РФ

**«Один опыт я ставлю выше, чем  
тысячу мнений, рожденных только  
воображением»**

**М.В.Ломоносов**

## В ЭТОМ НОМЕРЕ:

- **XX ЛЕТ СОЮЗУ МАРКШЕЙДЕРОВ  
РОССИИ**
- **ПРОБЛЕМЫ НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЯ**
- **ГЕОДЕЗИЯ, МАРКШЕЙДЕРИЯ, ГИС**
- **ПРОБЛЕМЫ ГОРНОЙ ГЕОМЕХАНИКИ**
- **ПРОБЛЕМЫ ПРОМЫШЛЕННОЙ  
БЕЗОПАСНОСТИ**
- **ЮБИЛЕЙ**
- **ИНФОРМАЦИЯ**

**Учредители, издатель, редакционный совет и редакция научно-технического и производственного журнала «Маркшейдерский вестник» сердечно поздравляют наших читателей с праздниками: 6 сентября – Днем работников нефтяной и газовой промышленности; 13 сентября – Днем маркшейдера.**

**Желаем всем нашим недропользователям и их семьям доброго здоровья, успехов в труде, благополучия и личного счастья!**

## СОДЕРЖАНИЕ

### CONTENTS

	Стр. Page
<b>– XX ЛЕТ СОЮЗУ МАРКШЕЙДЕРОВ РОССИИ</b>	
<b>– XX YEARS TO MINING SURVEYORS OF RUSSIA</b>	
<b>В.С.Зимич.</b> О 20-летию Общероссийской общественной организации «Союз маркшейдеров России»....	7
<b>V.S.Zimich.</b> About the 20 anniversary of the All-Russian public organization "Union of surveyors of Russia"	
<b>– ПРОБЛЕМЫ НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЯ</b>	
<b>– PROBLEMS OF SUBSURFACE RESOURCES MANAGEMENT</b>	
<b>А.В.Дроздов, А.И.Мельников.</b> Особенности строения карбонатных пород глубоких горизонтов трубки Удачной.....	12
<b>A.V.Drozdov, A.I.Mel'nikov.</b> Features of structure of carbonate breeds of deep horizons of tube «Udachny» .	
<b>В.В.Керченский, В.В.Яхеев.</b> Классификация методов, индексов и критериев по областям применения в одномерном и многомерном статистическом анализе.....	19
<b>V.V.Kerchensky, V.V.Yakheev.</b> Classification methods, indices and criteria for application areas in the univariate and multivariate statistical analysis.	
<b>– ГЕОДЕЗИЯ, МАРКШЕЙДЕРИЯ, ГИС</b>	
<b>– GEODESY, MINE SURVEYING, GIS</b>	
<b>В.Г.Бурачек.</b> О перспективе применения метода астрономического нивелирования для решения задачи поиска и обследования месторождений углеводородов.....	22
<b>V.G.Burachek.</b> Application of the method of astronomical leveling to solve the problem of search and examination of hydrocarbon deposits.	
<b>Ю.Н.Гавриленко, С.С.Маликов.</b> Анализ измеряемых величин при маркшейдерско-геодезическом мониторинге современных движений земной коры и деформаций крупных инженерных сооружений.....	29
<b>Yu.N.Gavrilenko, S.S.Malikov.</b> The analysis of the measured sizes at surveying and geodetic monitoring of modern earth movements and deformations of large engineering constructions	
<b>В.А.Киселев, Л.Р.Базыкина, Е.С.Базиляк.</b> Проблемы организации маркшейдерской службы в условиях технической модернизации .....	35
<b>V.A.Kiselev, L.R.Bazykina, E.S.Bazilyak.</b> Problems of organization of surveying service in conditions of technical modernization	
<b>Е.М.Волохов, С.Ю.Новоженин, В.И.Киреева.</b> Проблемы оценки сдвижений горных пород при строительстве крупных городских подземных транспортных сооружений тоннелепроходческими механизированными комплексами с активным пригрузом забоя.....	38
<b>E.M.Volokhov, S.Yu.Novozhenin, V.I.Kireeva.</b> Problems of the assessment of displacement of rocks at construction of large city underground transport constructions using earth pressure balance-tunnel boring machine	



**Е.А.Красильникова, А.В.Зубов.** Сравнение алгоритмов поиска грубоошибочных измерений в маркшейдерско-геодезических сетях ..... 43

**E.A.Krasil'nikova, A.V.Zubov.** Comparison of algorithms of search of gross errors measurements in surveyor geodesic networks

#### – ПРОБЛЕМЫ ГОРНОЙ ГЕОМЕХАНИКИ

#### – PROBLEMS OF MOUNTAIN GEOMECHANICS

**Ю.О.Кузьмин.** Относительные деформации изгиба земной поверхности и оценка геодинамической опасности объектов ..... 47

**Yu.O.Kuz'min.** Relative deformations of the bend of earth surface and estimation of geodynamic danger of objects

**С.В.Кузьмин.** Способ борьбы с пучением пород почвы в горных выработках с помощью разгрузочной полости ..... 53

**S.V.Kuz'min.** Method of fight against troubling of breeds of soil in excavations by means of unloading cavity

#### – ПРОБЛЕМЫ ПРОМЫШЛЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

#### – PROBLEMS OF INDUSTRIAL SAFETY

**А.В.Демченко.** Определение параметров и режима формирования дренажных элементов в намывных массивах тонкодисперсных грунтов ..... 57

**A.V.Demchenko.** Determination of the parameters and regime of the formation of the drainage elements in the filling massive of the finely dispersed soils

**В.К.Мусаев, В.П.Спиридонов, И.В.Деревяшкин, Е.В.Дикова, В.В.Стародубцев.** О комплексном и системном подходе в мониторинге безопасности объектов производственной и социальной сферы при чрезвычайных ситуациях ..... 59

**V.K.Musayev, V.P.Spiridonov, I.V.Derevyashkin, E.V.Dikova, V.V.Starodubtsev.** On a comprehensive and systematic approach to safety monitoring of industrial and social spheres in emergency situations

– ЮБИЛЕЙ ..... 63

#### – ANNIVERSARY

– ИНФОРМАЦИЯ ..... 65

#### – INFORMATION

### Уважаемые коллеги!

**Предлагаем вам подписаться на НТИП журнал «Маркшейдерский вестник» на 2016 год!**

«Маркшейдерский вестник» входит в список ВАК и публикуемые в нем статьи диссертанты могут включать в перечень своих научных трудов.

Выходит журнал один раз в 2 месяца (6 раз в год) форматом «А4» и объемом до 72 страниц.

Журнал рассылается по подписке на предприятия, в научные учреждения, в организации и частным лицам на территории России и стран СНГ.

Подписаться на журнал можно в отделениях связи по индексам:

**в каталоге ОАО «Роспечать» 71675;**

**в каталоге «Пресса России» 90949;**

**в каталоге «Урал-Пресс» 71675;**

**в интернет-каталоге «АРЗИ» Э90949. Ссылка на каталог для подписки он-лайн: <http://www.akc.ru/itm/marksheiderskiy-vestnik/>.**

Подписка через редакцию принимается с любого текущего номера. Для оформления подписки на 2016 г. необходимо перечислить на счет редакции сумму предоплаты согласно каталожной цены журнала, указав точный почтовый адрес, а также должность и фамилию получателя.

Получить информацию по вопросам подписки, доставки и приобретения журнала можно по тел.: (495) 600-32-00 (доб.14-19) или по электронной почте e-mail: [office@gjproct.ru](mailto:office@gjproct.ru).

**Редакция «МВ»**





# XX лет Союзу маркшейдеров России



Центральный Совет Союза маркшейдеров России  
Избран 29.06.2012 г.

## Президент СМР

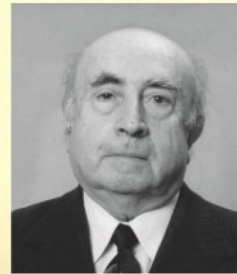


Зимич В.С.

## Вице-президенты СМР



Навитный А.М.



Иофис М.А.



Грицков В.В.  
Исполнительный  
директор СМР

## Члены ЦС СМР



Алексеев А.Б.



Анисимов А.Н.



Горбенко В.Я.



Залялов И.М.



Никифоров С.Э.



Лаптева М.И.



Панасюк А.В.



Сычёв А.В.



Капитонов С.И.

## Центральная Ревизионная Комиссия СМР



Председатель  
ЦРК СМР  
Осипов А.Л.



Коняхина О.А.



Михайлова Н.Н.

**О 20-ЛЕТИИ ОБЩЕРОССИЙСКОЙ ОБЩЕСТВЕННОЙ ОРГАНИЗАЦИИ  
«СОЮЗ МАРКШЕЙДЕРОВ РОССИИ»**

Представлен юбилейный материал, посвященный 20-летию образования Общероссийской общественной организации «Союз маркшейдеров России», приводятся цели и задачи Организации, исторический обзор ее продуктивной деятельности.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** Общероссийская общественная организация «Союз маркшейдеров России»; 20-летний юбилей; маркшейдерская общественность; плодотворная деятельность.

V.S.Zimich

**ABOUT THE 20 ANNIVERSARY OF THE ALL-RUSSIAN PUBLIC ORGANIZATION  
"UNION OF SURVEYORS OF RUSSIA"**

The anniversary material devoted to the 20 anniversary of the All-Russian public organization "Union of Surveyors of Russia" is presented, the purposes and tasks of the organization, the historical review of its productive activity are given.

**KEY WORDS:** All-Russian public organization "Union of surveyors of Russia"; the 20 anniversary; surveyor public; fruitful activity.



В 2015 г. исполняется 20 лет со дня образования Общероссийской общественной организации «Союз маркшейдеров России» (далее Союз маркшейдеров России). Организация была учреждена в соответствии с решением III Всероссийского съезда маркшейдеров, проходившего 23-26 мая 1995 г., и после государственной регистрации приобрела статус юридического

лица (Свидетельство о государственной регистрации №3208 от 16.05.1996 г. с последующей перерегистрацией №3208 от 15.01.2004).

Из множества причин, ускоривших создание Союза маркшейдеров России, укажем, на наш взгляд, основные.

Прежде всего, это – нараставший поток предложений снизу, связанный с тем, что маркшейдерские службы на местах стали притесняться административными предприятиями и организациями, были отменены Типовые и отраслевые положения о ведомственной маркшейдерской службе, исчезло централизованное управление маркшейдерскими службами и др.

Вышедший в 1992 г. Закон Российской Федерации «О недрах» практически не содержал особых указаний по организации и деятельности маркшейдерских служб, в том числе и об утверждении Типового положения о них, как это было ранее в Законодательстве о недрах Союза ССР и союзных республик.

Остались открытыми такие вопросы: кто в дальнейшем будет информировать маркшейдерскую общественность о происходящих изменениях в законодательно-правовой сфере, путях развития маркшейдерского дела в стране, обмене опытом и др. аспектах.

В этой ситуации и было принято решение о создании Союза маркшейдеров России как организации, представляющей всесторонние интересы маркшейдеров.

Местом организации работ по созданию Союза маркшейдеров России была избрана Москва на базе Госгортехнадзора России и редакции журнала «Маркшейдерский вестник».

После ликвидации министерств горнодобывающей промышленности Союз маркшейдеров России на практике стал ведущей организацией в области дея-

тельности, связанной с проведением маркшейдерских работ, рациональным и комплексным использованием и охраной недр. В своей работе организация руководствуется законодательством Российской Федерации, нормативными правовыми актами в области горного и маркшейдерского дела и активно сотрудничает с аппаратом Государственной Думы Российской Федерации, федеральными органами исполнительной власти, включая Ростехнадзор, Минюст России, Минэнерго России, Минэкономразвития России, Минприроды России, правительством г.Москвы и администрациями других субъектов Российской Федерации, территориальными органами Ростехнадзора, научно-исследовательскими и учебными организациями, отечественными и зарубежными компаниями по добыче углеводородного сырья и твердых полезных ископаемых, а также отечественными и зарубежными негосударственными профильными организациями.

Союз маркшейдеров России объединяет в себе специалистов маркшейдеров, имеющих большой опыт в научной, учебной и практической деятельности и внесших значительный вклад в развитие маркшейдерского дела в Российской Федерации.

В соответствии с Уставом, зарегистрированным Минюстом России 11 октября 2013 г., после внесенных изменений и дополнений на 10 съезде Общероссийской общественной организации «Союз маркшейдеров России» 21 мая 2013 г. Организация создается в целях содействия повышению эффективности использования минеральных ресурсов и подземного пространства, охране недр и окружающей среды, безопасному ведению работ, связанных с использованием недрами на основе внедрения достижений научно-технического прогресса и соблюдения национальных интересов и законодательства о недрах.

Задачами Организации являются:

- объединение специалистов-маркшейдеров, создание условий для роста профессионального и научного уровня;

- содействие объединению творческих сил специалистов в области маркшейдерии, в целях повышения качества работ при недропользовании;

- содействие развитию законодательства в сфере недропользования и нормативно-методического обеспечения производства маркшейдерских работ;

- содействие развитию профессиональных и творческих связей между горнодобывающими регио-

нами, обмену передовым опытом в области маркшейдерии, информации о практическом опыте и научных достижениях в России и за рубежом;

- развитие рыночных механизмов повышения качества маркшейдерских работ, включая добровольную сертификацию и саморегулирование в сфере производства маркшейдерских работ, маркшейдерский аудит и консалтинг;

- содействие формированию рынка подрядных услуг в области особо сложных маркшейдерских работ;

- содействие совершенствованию подготовки, повышения квалификации и переподготовки маркшейдерских кадров;

- содействие разработке и внедрению новых методов и технических средств ведения маркшейдерских работ;

- разработка научных концепций и содействие научно-техническому прогрессу по рациональному использованию природной среды, комплексному освоению земной поверхности и подземного пространства, полноте выемки полезных ископаемых, снижению потерь и засорения руд, охране недр и природных объектов, земельных, минеральных и других сырьевых ресурсов, охране памятников истории, культуры и архитектуры от вредного влияния горных разработок;

- создание научных, производственных и общественных организаций для решения задач маркшейдерии при недропользовании;

- содействие обеспечению юридических, экономических и социальных прав членов Организации;

- анализ и мониторинг законодательства в области недропользования, противодействие коррупции и необоснованно установленным административным барьерам;

- организация и проведение выставок, конференций, симпозиумов по вопросам маркшейдерии, геометрии недр и геомеханики;

- осуществление связей Организации с другими творческими обществами и организациями, а также с горными предприятиями, научными и учебными организациями, государственными органами для решения проблем рационального использования и охраны недр, развития исследований, создания новой техники, профессиональной подготовки, научно-технического творчества в области маркшейдерии и геометрии недр;

- осуществление международных связей с национальными союзами и обществами маркшейдеров других стран, Международным обществом по маркшейдерскому делу (ISM), включая внешнеэкономическую деятельность в области маркшейдерии, геометрии недр и геомеханики.

В соответствии с действующим законодательством Организация имеет право:

- участвовать в выработке решений органов государственной власти и органов местного самоуправления в порядке и объеме, предусмотренным законом;

- выступать с инициативами по совершенствованию законодательных и нормативных правовых актов и развитию нормативно-методического обеспечения недропользования и маркшейдерии, по осуществлению антикоррупционной экспертизы и иным во-

просам, имеющим отношение к реализации уставных целей Организации, вносить предложения в органы государственной власти;

- учреждать средства массовой информации и осуществлять издательскую деятельность;

- представлять и защищать свои права, законные интересы своих членов, а также других граждан в органах государственной власти, органах местного самоуправления, общественных объединениях, судах;

- создавать хозяйственные товарищества, общества и иные хозяйственные организации, обладающие статусом юридического лица, а также приобретать имущество, предназначенное для ведения хозяйственной деятельности для осуществления уставных целей и в пределах, установленных действующим законодательством;

- вести организационное сопровождение Системы добровольной сертификации в сфере производства маркшейдерских работ, учреждать саморегулируемые организации;

- оказывать экспертные и информационно-консалтинговые услуги юридическим и физическим лицам;

- от своего имени совершать сделки, иные юридические акты, как в России, так и за рубежом;

- организовывать конференции, семинары и иные форумы с участием представителей горной общественности и органов государственной власти;

- приобретать имущественные и личные неимущественные права и нести ответственность, быть истцом и ответчиком в суде, арбитражном и третейских судах;

- самостоятельно определять порядок, формы организации и оплаты труда штатных работников и привлекаемых специалистов;

- вести хозяйственную деятельность для осуществления уставных целей и в пределах, установленных действующим законодательством;

- осуществлять проектные и научные работы, обеспечивать методическое сопровождение сложных видов работ в сфере маркшейдерии;

- учреждать награды (почетные и научные звания, медали и знаки отличия) и иные виды поощрения за личные и коллективные заслуги;

- свободно распространять информацию о своей деятельности;

- вырабатывать и представлять правовую позицию от своего имени по вопросам связанным с уставной деятельностью;

- принимать в России иностранные делегации и частных лиц;

- создавать региональные (местные) отделения, филиалы и (или) представительства в субъектах Российской Федерации, а так же участвовать в других общественных объединениях.

Кроме прав Уставом предусмотрены обязанности, прежде всего:

- соблюдать законодательство Российской Федерации, общепризнанные принципы и нормы международного права, касающиеся сферы его деятельности, а также нормы, предусмотренные Уставом;

- ежегодно публиковать отчет об использовании своего имущества или обеспечивать доступность оз-накопления с указанным отчетом;

- ежегодно информировать орган, принявший ре-



## XX ЛЕТ СОЮЗУ МАРКШЕЙДЕРОВ РОССИИ

шение о государственной регистрации общественного объединения, о продолжении своей деятельности и др.

Полномочия Союза маркшейдеров России, приведенные выше, подтверждаются следующими свидетельствами:

- Свидетельство о регистрации в едином реестре зарегистрированных систем добровольной сертификации, регистрационный №РОСС RU. К254.04, АНОО «Система добровольной сертификации в сфере производства маркшейдерских работ», выданное Федеральным агентством по техническому регулированию и метрологии 16 сентября 2005 г.;

- Свидетельство об аккредитации в сфере государственного геологического контроля и охраны недр и государственного горного контроля от 20.02.2013 №РОСС RU.0001.410075, выданное Федеральной службой по аккредитации;

- Свидетельство об аккредитации в сфере государственного экологического надзора и производства маркшейдерских работ от 30.06.2014 №РОСС RU.0001.410306, выданное Федеральной службой по аккредитации;

- Свидетельство об аккредитации юридического лица в качестве независимого эксперта, уполномоченного на проведение экспертизы на коррупциогенность от 05.12.2014 №2053, выданное Минюстом России;

- Лицензия на осуществление деятельности по проведению экспертизы промышленной безопасности №ДЭ-00-010700 (ГДУ) от 16 сентября 2009 г., выданная Ростехнадзором;

- Лицензия на осуществление производства маркшейдерских работ №ПМ-00-010517 (о) от 29 июля 2009 г., выданная Ростехнадзором.

Союз маркшейдеров России является членом Некоммерческой организации «Российский союз товаропроизводителей» и учредителем журнала «Маркшейдерский вестник».

Кроме того, Союз маркшейдеров России является некоммерческой организацией, о чем запись внесена в ведомственный реестр зарегистрированных некоммерческих организаций 05 мая 2006 г. Федеральной регистрационной службой за учетным номером 00120106226. Решение о государственной регистрации символики некоммерческой организации ООО «Союз маркшейдеров России» принято распоряжением Минюста России от 09.07.2009 №2218р.

За прошедшие с момента основания 20 лет, реализуя уставные задачи, Союз маркшейдеров России поступательно развивался и оказал заметное положительное влияние на состояние всех составляющих маркшейдерского дела в Российской Федерации. Укажем лишь на отдельные примеры, при этом мы не будем оценивать состояние маркшейдерского дела в стране. Это не простой вопрос и он требует отдельного всестороннего рассмотрения, тем более, что это - далеко не празднично-юбилейная тема.

Союз маркшейдеров России создал постоянную площадку для встречи маркшейдеров России, на которой рассматривается широкий спектр вопросов, в том числе: разработка и внедрение новых методов и технических средств ведения маркшейдерских работ, состояние и развитие правовой и нормативной документации в области маркшейдерского дела, совер-

шенствование методов подготовки молодых специалистов и повышение квалификации работающих, информирование о практическом опыте и научных достижениях в Российской Федерации и за рубежом о состоянии рационального и комплексного использования полезных ископаемых, безопасного ведения горных работ и первоочередных задачах маркшейдеров в этих важнейших компонентах горнопромышленного комплекса.

Такой площадкой являются регулярно проводимые научно-практические конференции (не менее 4-х в год). Кроме того, не реже одного раза в пять лет, согласно Уставу, проводятся съезды членов Союза маркшейдеров России, где кроме указанных выше вопросов дается отчет о деятельности Центрального Совета Союза маркшейдеров России и намечаются меры по устранению имеющихся недостатков в работе и совершенствованию дальнейшей деятельности.

Союз маркшейдеров России нередко противостоит попыткам различных фигурантов под видом реформ разрушить сложившиеся и оправдавшие себя традиции в маркшейдерской деятельности.

Так в 2000 г. Министерство науки и технологий Российской Федерации исключило из Номенклатуры специальностей научных работников шифр 05.15.01 «маркшейдерия». Из достоверных источников стало известно, что маркшейдерия намечено было включить в состав квалиметрии. Размеры статьи не позволяют изложить всех негативных последствий этой «реформы», если бы она была осуществлена. Центральный Совет Союза маркшейдеров России направил свои аргументированные возражения в ВАК, РАН и Министерство науки и технологий Российской Федерации, предложил восстановить маркшейдерия как специальность в Номенклатуре специальностей научных работников и контролировал реакцию указанных ведомств на наше обращение. Не сразу, но в конечном счете Министерство науки и технологий Российской Федерации вернуло статус маркшейдерии как научной дисциплины.

Руководствуясь Федеральным законом «О техническом регулировании» Союз маркшейдеров России разработал «Правила функционирования системы добровольной сертификации в сфере производства маркшейдерских работ» и зарегистрировал их в установленном порядке. В соответствии с этими Правилами Центральный Совет Союза маркшейдеров России и региональные отделения в настоящее время ведут добровольную сертификацию маркшейдерских служб, что способствует повышению качества маркшейдерских работ, и оказывают помощь органам Ростехнадзора в контрольной работе за производством маркшейдерских работ.

Кроме того, Союз маркшейдеров России активно участвовал и участвует в разработке проектов нормативных правовых актов в сфере производства горных и маркшейдерских работ, которые затем в установленном порядке утверждаются Ростехнадзором.

Союз маркшейдеров России участвовал в деятельности рабочей группы, сформированной Государственной Думой для рассмотрения новых вариантов Законов Российской Федерации «О недрах», взамен Закона Российской Федерации «О недрах» от 1992 г., разработанных МПР России и внесенных в

Государственную Думу Правительством Российской Федерации. Поскольку ряд положений новых вариантов закона не только не улучшали действующий, а наоборот ухудшали, Союз маркшейдеров России занял активную наступательную позицию против их принятия и настаивал на возвращение авторам проектов закона на доработку. Позиция Союз маркшейдеров России поддерживалась и другими участниками рабочей группы. В итоге Госдума отказалась принимать эти варианты законов, и они были возвращены на переработку их авторам. Основными недостатками этих вариантов законов были: недостаточная защита государственных интересов при освоении ресурсов недр, возможность переуступки прав на пользование недрами, нечеткие требования по рациональному использованию и охране недр, сведение функций государственного горного надзора только к контролю за промышленной безопасностью, нерыночность отдельных положений проектов законов. В них не нашел также отражение особый статус маркшейдерской службы при освоении ресурсов недр.

Рост авторитета Союза маркшейдеров России и его активная позиция позволил ему выиграть конкурс, объявленный Правительством г.Москвы, о разработке «Свода правил по геодезическо-маркшейдерскому обеспечению строительства и эксплуатации метрополитенов». Свод правил был разработан и сдан заказчику в установленные сроки.

Союз маркшейдеров России практикует направление предложений по решению животрепещущих проблем в Правительство Российской Федерации, Государственную Думу и непосредственно Президенту России.

Так, в свое время в журнале «Маркшейдерский вестник» были опубликованы открытые письма премьерам Черномырдину В.С. и Касьянову М.М. о проблемах, которые возникали в маркшейдерии Российской Федерации. О реакции на эти письма нечего сказать...

Президенту Российской Федерации Путину В.В. 09.07.2012 было направлено письмо, в котором изложены мотивированные возражения против присоединения Московского государственного горного университета к Национальному исследовательскому технологическому университету «Московский институт стали и сплавов» (МИСиС) в качестве структурного подразделения и просьба отменить приказ Министерства образования и науки Российской Федерации от 14.05.2012 по этому вопросу.

Мы располагаем информацией, что письмо рассматривалось на различных уровнях. Это не помешало объединить институты, но предотвратило намечавшееся уничтожение горных кафедр и специальностей.

Союз маркшейдеров России активно сотрудничает с Международной организацией по маркшейдерскому делу ИСМ (ISM). Члены Союз маркшейдеров России неоднократно избирались в рабочие органы (президиум и рабочие комиссии) этой организации, систематически участвуют в работе Международных конгрессов по маркшейдерскому делу, где выступают с докладами по актуальным проблемам.

По инициативе Союза маркшейдеров России в 2019 г. очередной XVII конгресс ISM будет проведен в России на базе Иркутского политехнического универ-

ситета.

Большое внимание Союз маркшейдеров России уделяет книгоиздательской деятельности. К настоящему времени изданы История маркшейдерского дела в документах XVI-XX вв., История горного надзора в документах XVI-XX вв. и др.

Союз маркшейдеров России ежегодно проводит Всероссийский конкурс на лучшую работу по русской истории «Наследие предков - молодым» при содействии Федерального агентства по образованию в целях формирования нового поколения историков посредством выявления, содействия становлению и развитию молодых и талантливых специалистов, а также популяризации исторического знания (в том числе в области горного дела).

Союз маркшейдеров России также является соучредителем журнала «Маркшейдерский вестник». Этому журналу, а также его главным редакторам принадлежит значительная заслуга в организации, становлении и освещении деятельности Союза маркшейдеров России.

На его страницах, а также журнала «Маркшейдерия и недропользование», члены Союза маркшейдеров России постоянно выступают со статьями.

Центральный совет постоянно отслеживает деятельность специалистов горно-геологической общности, способствующих успешной работе Союза маркшейдеров России и, тем более, участвующих в его работе. Наиболее активным из них вручаются награды Союза маркшейдеров России, а также по представлению Союза маркшейдеров России - ведомственные награды Ростехнадзора, Минэнерго России, Минприроды России и других ведомств.

Необходимо отметить, что российская маркшейдерская школа, наука и практика занимает ведущее место в мире, а задачи, при этом решаемые, поистине грандиозны. И это, безусловно, заслуга инженерного корпуса маркшейдеров России. Мы, конечно, в этой статье не ставим себе задачу назвать фамилии и имена всех ученых и практиков, чьими усилиями наша маркшейдерия поднята на достойный уровень, но поскольку речь идет о 20-летнем юбилее Союза маркшейдеров России, мы должны назвать тех, кто стоял у истоков Союза маркшейдеров России, активно способствовал его созданию, становлению и продуктивной работе.

Основную роль в создании и учреждении Союза маркшейдеров России сыграли Ильин А.И., Ворковастов К.С., Столчнев В.Г., Зимич В.С., Навитный А.М., Иофис М.А., Симаков В.Н., Петров И.Ф., Клесов А.И., Козаченко М.Г. Члены оргкомитета Ворковастов К.С., Зимич В.С., Козаченко М.Г. и Столчнев В.Г. стали учредителями Союза маркшейдеров России.

Значительную роль в создании Союза маркшейдеров России сыграл Госгортехнадзор России. К моменту образования Союза маркшейдеров России этот госорган сохранил от прежних времен высокий административный ресурс, был укомплектован высококвалифицированными кадрами, имевшими большой производственный стаж и опыт надзорной деятельности, пользовался высоким авторитетом как в инженерной общности, так и в высших органах государственной власти Российской Федерации.

К тому же в середине 90-х годов прошлого века

## XX ЛЕТ СОЮЗУ МАРКШЕЙДЕРОВ РОССИИ

это было, пожалуй, единственное ведомство после ликвидации союзных и российских республиканских ведомств горнодобывающей и перерабатывающей промышленности, которое могло дать квалифицированные советы и предложения по преодолению технических проблем, повседневно возникающих на производстве.

Госгортехнадзор России поддержал идею создания Общероссийской общественной организации «Союз маркшейдеров России», предоставил юридический адрес этой новой организации, почтовую и телефонную связь. Многие информационные, организационные, аналитические и иные мероприятия по созданию Союза маркшейдеров России проводились на безвозмездной основе в стенах Госгортехнадзора.

Очень важна была также положительная позиция Госгортехнадзора о необходимости создания СМР, которая всегда была неизменной и многократно подтверждалась по запросу Правительства, Государственной Думы и иных государственных органов.

Такая позиция Госгортехнадзора России определялась, прежде всего, его Председателем Васильчуком М.П., горным инженером-маркшейдером.

В инженерно-маркшейдерском корпусе Российской Федерации трудились и трудятся многие замечательные специалисты, которые не только трудовыми, научными, учебными делами прославляли маркшейдерию – эту деликатнейшую часть горного дела, но и высокой эрудицией, активной жизненной позицией, подвигами, ратными и иными делами.

Учитывая, что 2015 год является юбилейным для Победы в Великой отечественной войне над фашистской Германией, мы прежде всего должны назвать Героя Советского Союза Потехина Ивана Павловича. Его боевой путь достаточно подробно описан в статье «Человек-Легенда Иван Потехин», помещенной в журнале «Безопасность труда в промышленности» №4 за 2015 год. После окончания в 1956 г. Московского горного института он получил специальность горного инженера-маркшейдера и после работал на вольфрамо-молибденовом руднике в Бурятии, а потом до выхода на пенсию - в системе Госгортехнадзора. В 2005 г. И.П.Потехин был избран «Почетным членом ООО «Союз маркшейдеров России». 24 апреля 2015 г. на здании Приокского управления Ростехнадзора, где Потехин И.П. работал начальником инспекции по охране недр и геолого-маркшейдерскому контролю, была открыта посвященная ему мемориальная доска. В церемонии открытия принял участие руководитель Ростехнадзора Алешин А.В. Были там и представители Союза маркшейдеров России.

Союз маркшейдеров России всегда старался отметить доступными ему средствами хорошую работу, активное участие в деятельности СМР маркшейдеров, независимо от места их работы.

По ходатайству Союза маркшейдеров России маркшейдера награждались ведомственными наградами Минэнерго (Знаками Шахтерская Слава I, II и III степени) Госгортехнадзора, ООО «Газпром» и других ведомств.

Многие маркшейдера отмечены наградами, учрежденными непосредственно Союзом маркшейдеров России: почетными грамотами, золотым и серебряным значками СМР. Наиболее высокой награды: присвоение звания «Почетный член ООО «Союз маркшейдеров России» удостоены следующие маркшейдеры России (по алфавиту): Васильчук М.П., Ворковастов К.С., Горбенко В.Я., Гудков В.М., Зимич В.С., Игнатьев В.Ф., Иофис М.А., Макаров А.Б., Навитный А.М., Попов В.Н., Потехин И.П., Птицын А.М., Скоробогатский Н.И., Соколов И.Н., Стрельцов В.И., Ушаков И.Н.

В настоящее время в состав Союза маркшейдеров России входит 45 региональных отделений, которые проводят на местах определенную работу. Активно работают Иркутское, Тюменское, Пермское и Московское областные отделения. Центральный Совет принял решение о централизованной выдаче удостоверений членам Союза маркшейдеров России и к настоящему времени уже выдано 723 удостоверения. Центральный Совет и Исполнительная дирекция ведут настойчивую работу по вовлечению в ряды Союза маркшейдеров России новых членов.

Центральный Совет, избранный на последнем съезде в составе 15 человек, регулярно, в соответствии с уставом проводит заседания, на которых рассматриваются актуальные вопросы по совершенствованию работы Союза маркшейдеров России, выполнения планов, решений съездов и конференций, уставных задач и др.

В системе Союза маркшейдеров России работает также Научно-технический совет, в составе 17 человек.

В дальнейшем на смену вышедшим пришел ряд новых, энергичных специалистов, которые внесли новую струю в деятельность Союза маркшейдеров России и подняли ее на более высокий уровень. Здесь прежде всего надо назвать Анисимова А.Н., Беляева К.В., Васфиева И.А., Грицкова В.В., Залялова И.М., Комарова И.Г., Лаптеву М.И., Осипова А.А., Охотина А.Л., Черепнова А.Н.

Автор настоящей статьи старался исключить личностный подход к оценке происшедших событий. В какой мере это удалось, судить читателям, конечно, главным образом – маркшейдерам как работающим, так и находящимся на заслуженном отдыхе.

Их замечания, уточнения, предложения, важные, но не учтенные моменты будут весьма полезны для написания более обширного материала (очерков по истории создания и становления ООО «Союз маркшейдеров России»). Особенно ценен материал по истории создания и работы территориальных органов СМР.

В заключение надо сказать: создание Союза маркшейдеров России полностью себя оправдало и за 20 лет он доказал свою жизнеспособность. Сегодня Союз маркшейдеров России - это ведущая организация, которая объединяет российскую маркшейдерскую общественность и оказывает несомненное содействие в развитии маркшейдерского дела в России.

*Владимир Степанович Зимич, Президент  
ООО «Союз маркшейдеров России», E-mail: smr@mwork.ru*



УДК [551.345+550.4:574.4]

А.В.Дроздов, А.И.Мельников

## ОСОБЕННОСТИ СТРОЕНИЯ КАРБОНАТНЫХ ПОРОД ГЛУБОКИХ ГОРИЗОНТОВ ТРУБКИ УДАЧНОЙ

Приведены результаты исследования по установлению природы образования вскрытых на руднике «Удачный» в удачинской свите подземными горными выработками опасных по устойчивости зон. Установлено, что указанные зоны связаны не со структурно-тектонической обстановкой на месторождении, а с фациально-седиментационными условиями осадкообразования кембрийских толщ. Показано, что для прогнозирования таких опасных зон необходим полный фациально-седиментационный анализ всех материалов по местам вскрытия подземными горными выработками ниже- и среднекембрийских отложений удачинской свиты в рифогенной Далдыно-Мархинской структуре.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** строматолиты; карбонатные постройки; рифовый барьер; осадконакопление; биогермы; рудник «Удачный».

А. V. Drozdov, A. I. Mel'nikov

## FEATURES OF STRUCTURE OF CARBONATE BREEDS OF DEEP HORIZONS OF TUBE «UDACHNY»

Results of research on establishment of the nature of formation of the zones, dangerous on stability, opened on Udachny mine in udachninsky suite with underground excavations are given. It is set that the indicated zones are connected not with a structural and tectonic situation on a deposit, and with facial-sedimentation conditions of rainfall formation of cambrian layers. It is shown that the full facial-sedimentation analysis of all materials is necessary for forecasting of such dangerous zones in opening places underground excavations lower and so-so cambrian deposits of udachninsky suite in reef-gene Daldyno-Markhinsky structure.

**KEY WORDS:** stromatolites; carbonate building; reef barrier; sedimentation; bioherms; mine "Udachny".



А.В.Дроздов



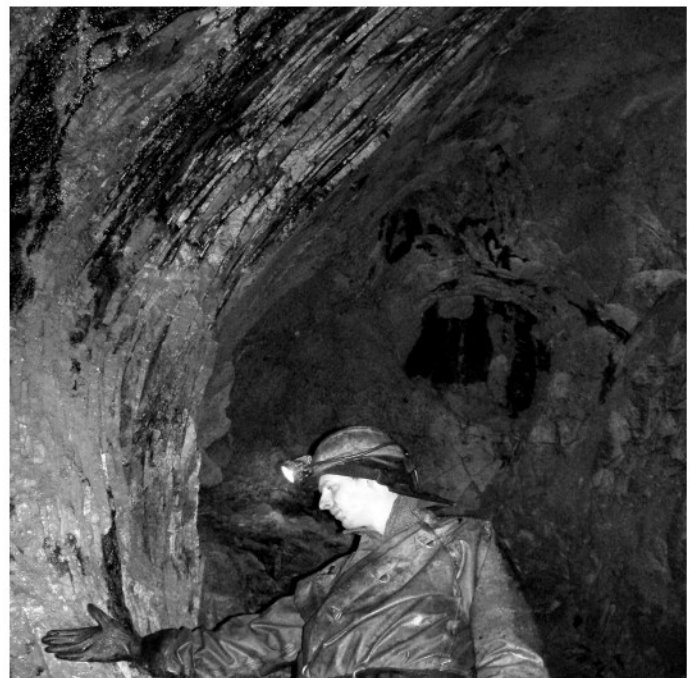
А.И.Мельников

Трубка Удачная является одним из крупнейших алмазных месторождений России с глубиной открытой отработки более 600 м и дальнейшим освоением подкарьерных запасов подземным способом.

Горно-техническая, криогидрогеологическая и нефтегазовая ситуации на месторождении не имеет аналогов в отечественной и мировой практике. Переход на шахтный способ добычи кимберлитовой руды сопряжен возникновением сопутствующих комплексных проблем освоения и строительства различных подземных сооружений в экстремальных условиях региона. Одним из опасных и осложняющих факторов, с которыми столкнулись шахтостроители при проходке отдельных участков вертикальных и горизонтальных горных выработок, в частности, на горизонте -580 абс.м (удачнинская свита ниже-среднего кембрия), является естественное шелушение осадочных вмещающих пород с последующим обрушением значительных объемов горной массы (до 850 м<sup>3</sup>) из кровельной и прибортовых частей (рис.1).

При беглом обзоре отдельных участков выработок фиксировалась субвертикальная или наклонная трещиноватость осадочных отложений. Это, в начальный момент, связывали со структурно-тектонической обстановкой во вскрываемых породных массивах. При более детальном изучении строения карбонатных толщ выявилась иная картина происхождения этих вывалов. Поэтому рассмотрим основные причины существующих негативных инженерно-геологических явлений при вскрытии вмещающих карбонатных толщ глубоких горизонтов кимберлитовой трубки.

зонтон кимберлитовой трубки.



**Рис.1. Левый борт куполообразного вывала в строматолитовых постройках**

Подземная разработка коренных месторождений алмазов приводит не только к изменению напряженно-деформационного состояния вскрываемых рудных и породных массивов, но и к снижению прочностных показателей горных пород, а также к формированию проницаемой геологической среды. Часто водогазонепроницаемые толщи под влиянием горнопроходческих работ и возникающих новых трещинных деформаций становятся неустойчивыми и высокопроницаемыми. Необходимость оценки геомеханического состояния массивов горных пород в тесной взаимосвязи с содержащимися в них подземными флюидами, пожалуй, с наибольшей полнотой просматривается при изучении закономерностей изменения деформационных и фильтрационных свойств по-

## ПРОБЛЕМЫ НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЯ

родных блоков в зоне влияния подземных горных работ. Отмеченное выше, позволяет отнести упомянутые задачи к области, охватываемой гидрогеомеханикой, решения которых зависят от реальной оценки сидементационных, структурно-тектонических условий, флюидонасыщенности и изменения напряженно-деформационного состояния отдельных породных и рудных блоков месторождения.

В связи с вышеотмеченным, результаты ранее проведенных исследований и наблюдения за изменением геомеханических, газовых, гидродинамических и других условий прилегающих к рудным телам породных массивов, обеспечение и контроль безопасных условий производства горнопроходческих работ приобретают существенную актуальность и практическую значимость. Опыт подземной разработки коренных алмазных месторождений Якутии и производства горных работ на рудниках АК «АПРОСА» выявил необходимость дополнительной оценки и обоснования безопасных условий строительства и эксплуатации подземных горных выработок в условиях рудника «Удачный» и выполнения специальных работ в опасных зонах, в частности в водных, нефтегазонасыщенных и неустойчивых по обрушениям блоках.

Месторождение трубки Удачной расположено на юго-западной окраине Далдыно-Мархинского криогидрогеологического резервуара, вблизи рифовой оконечности карбонатной банки, имеющей юго-восточное простирание [1, 3]. Эти обстоятельства обусловили различие фильтрационно-емкостных показателей водовмещающих пород, примыкающих к кимберлитовой трубке и имеющих различную степень обводнения. С севера к месторождению примыкает своеобразная криогидрогеологическая структура низшего порядка – Далдынская флексура, обладающая повышенными фильтрационными свойствами на уровне среднекембрийского водоносного комплекса. С южного фланга недалеко от кимберлитовых трубок по данным сейсморазведки выделен Октябрьский разлом на уровне толщ отложений венда.

Кимберлитовая трубка Удачная состоит из 2 сопряженных тел: Западного и Восточного. В верхней части разреза оба тела соприкасаются друг с другом и, начиная с глубин 250-270 м, расходятся в пространстве. В рудной структуре месторождения на верхних горизонтах установлено 8 кимберлитовых жил, а также 3 небольших сателлитных тела (до 5-10 м), структурно увязанных в две системы направлений с азимутами простирания 63–65° и 85°. На глубоких горизонтах рудного узла по эксплуатационным данным произошла определенная пространственная трансформация взаимоотношений кимберлитовых тел. Отмечены инъекции кимберлитов Восточного тела по направлениям приконтактных зон.

Вскрываемые вмещающие карбонатные породы в верхних частях месторождения представлены тонким аритмичным переслаиванием различных литологических разностей верхнекембрийских отложений, обладающих большим разбросом значений трещиноватости, кавернозности и физико-механических пара-

метров. Результаты испытаний образцов показали довольно широкий диапазон физико-механических свойств пород [5, 4]. К примеру, распределение коэффициента сцепления вмещающих карбонатных отложений по глубине выявило, что даже в пределах однометрового интервала изменения показателей могут отличаться в 3–5 раз. Инструментальная погрешность полученных показателей сведена к минимуму, а проведенный анализ показал, что результаты испытаний принадлежат к одной генеральной совокупности грунтов. Коэффициенты структурного ослабления пород на месторождении трубки Удачной колеблются в широких пределах: от 0,03 до 0,32, при этом данный показатель очень чувствителен к буровзрывным работам и может уменьшаться под влиянием взрывов в 5–10 раз. Такие колебания значений характерны и для других физико-механических свойств пород и объясняются, прежде всего, влиянием трещиной нарушенности горного массива.

В связи с осложнением горнотехнических условий эксплуатации глубоких горизонтов месторождения были обобщены и получены новые материалы по структурно-тектоническим условиям, обводненности, пространственному размещению проницаемых зон, особенностям внутреннего строения карбонатных толщ, генетическим типам разрывных нарушений трубки Удачной и её ближайшего обрамления [2, 3].

В целом, региональную и локальную сеть дизъюнктивных дислокаций в этом регионе образуют системы глубоко проникающих разломов фундамента, а также мелких разрывов, зон повышенной и интенсивной трещиноватости, связанных с формированием самих кимберлитовых тел и интрузий долеритов. Разломы в районе месторождения образуют четкую регматическую сеть: ортогональную (субширотные и субмеридиональные системы) и диагональную (северо-западные и северо-восточные системы). Формирование этих систем, наиболее вероятно, связано с региональным полем напряжений, сбросовыми и сдвиговыми подвижками в фундаменте Сибирской платформы. В целом, формирование кимберлитовых трубок отражено в локальных деформациях осадочного чехла в виде мелких хаотично ориентированных хрупких разрывов, зон брекчирования, катаклаза и образования мелких приразломных смещений (взбросов и сбросов) и складок изгиба (преимущественно асимметричных или коробчатых).

Из анализа плотности разломов в районе установлено, что плотность тектонических нарушений существенно возрастает в зонах влияния региональных дислокаций фундамента и достигает максимальных значений (более 13% на единицу площади) в юго-западном и северо-восточном обрамлении трубки, где интенсивно развиты как околотрубочные деформации, так и оперяющие системы локальных разрывов Октябрьского межблокового разлома. Анализ тектонической обстановки на месторождении показывает, что оба тела кимберлитовой трубки Удачной расположены в четком разломном узле, образованном пересекающимися диагональными системами регио-

## ПРОБЛЕМЫ НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЯ

нальных разрывных нарушений (северо-восточной и несколькими северо-западными), осложненными мелкими околотрубочными локальными разрывами. При этом северо-восточная система, вероятно, является более мощной и ранней. Здесь обычно наблюдается окварцевание, пиритизация пород и вращение отдельных блоков. Она обычно контролирует местоположение мелких кимберлитовых тел и жил в районе основной трубки.

В пределах карьера развиты в подавляющем большинстве крутопадающие системы трещин с углом падения от 50 до 90°. Горизонтальная трещиноватость проявлена преимущественно только по поверхностям напластования, то есть вдоль стратиграфических границ пород с разными реологическими свойствами. Плотность разрывных нарушений и зон повышенной тектонической трещиноватости распределяется неравномерно и также отчетливо контролируется системами региональных разломов. Наиболее высокая плотность дизъюнктивных нарушений наблюдается в полосе влияния главного северо-восточного разлома, где она достигает значений более 3% на единицу площади карьера. Данные нарушения водонасыщены и по ним осуществляется гидравлическая связь с толщами пород, обладающими высокими емкостными параметрами. Высокие значения плотности разрывов отмечаются и вдоль зон разломов западного борта карьера (более 2%), и практически по всему южному контакту кимберлитовых тел с вмещающими их породами. Как уже отмечалось ранее, северный борт и северные контактовые зоны кимберлитовых тел практически на всем своем протяжении наименее нарушены разломными системами и плотность разрывов здесь минимальна, хотя сами трещины более крупные и протяженные.

Эксплозивные процессы, характеризующие становление кимберлитовых трубок, сопровождались деструкцией локальных участков верхних частей консолидированной коры, изменением физико-механических свойств толщ пород и увеличением газо- и водопроницаемости отдельных зон. К примеру, вскрытие в северо-восточном борту карьера Удачный кимберлитоконтролирующей зоны на горизонте +5 абс.м привело к увеличению водопритоков на 60–70% от всего подземного стока, что позволило сделать вывод о прямой связи между ниже (на 200 м) распространенным наиболее водообильным среднекембрийским водоносным комплексом и открытой горной выработкой. Через зону тектонических нарушений рассолы водоносного комплекса мигрировали в обрабатываемое пространство карьерного поля из сопряженных областей, обладающих высокими фильтрационно-емкостными показателями отложений.

Дизъюнктивные деформации, понизывающие толщ пород независимо от литологической и стратиграфической принадлежности, соединяют водогазонасыщенные пласты в единую гидравлическую систему. Поэтому кимберлитовые трубки и прилегающие зоны разрывных дислокаций в блоках пород осадочного чехла могут являться своеобразными «гидрав-

лическими окнами». Но существует ряд неопределенностей, выраженных в характере раскрытости и проницаемости дизъюнктивов как для подземных вод, так и газов по вертикали и латерали. Кроме этого, вторичные гидротермальные процессы (кальцитизация, сульфитизация и др.) наложили свой отпечаток на существующие зоны нарушений в кимберлитовых телах и во вмещающих осадочных толщах. Прежде чем оценивать роль разрывных нарушений в обводнении горных выработок необходимо детально отследить структурно-тектонические показатели разных участков кимберлитовой трубки и прилегающих породных массивов. Обобщая изложенное выше по структурно-тектоническим особенностям района трубки, подчеркнем, что основной приток высокоминерализованных подземных вод в горные выработки на месторождении приурочен к трещинной нарушенности пород, прилегающего горного массива осадочного чехла, главным образом, северо-восточного простирания, связанной с региональными древними разломными зонами глубокого заложения в земной коре.

Далее остановимся на условиях седиментации и особенностях формирования кембрийских отложений в осадочном чехле региона. Вся Сибирская платформа, в том числе и территория Западной Якутии, характеризуется исключительно широким распространением карбонатных кембрийских отложений. Специфика карбонатообразования и карбонатонакопления, их закономерности определяют многие черты геологического строения регионов, пространственно-временные соотношения в развитии резервуаров подземных вод, их геометрию, емкостные свойства отложений, внутреннюю структуру рифовых образований и многое другое. Вблизи трубки Удачной с юго-востока на северо-запад протягивается барьерный риф, разделявший ранее ниже-среднекембрийский солеродный бассейн (Далдыно-Мархинскую рифогенную мелководную банку) от моря нормальной солёности [5]. Отложения амгинского яруса кембрия на прилегающей территории представлены рифогенными известняками различной мощности. Установленное варьирование глубины залегания кровли рифогенной удачинской свиты и мощности перекрывающей ее толщи кавернозных доломитов связывалось с резкой расчлененностью рифового рельефа, сформировавшегося к концу амгинского века, а также с наличием между этими стратонами перерыва, эрозии и несогласия. В последующем более детальное изучение кембрийских толщ позволило установить определенные закономерности в их строении.

История формирования осадочных пород вблизи трубки Удачной, которые слагают юго-западный рифовый барьер карбонатной банки или гидрогеологического резервуара, в настоящее время представляется следующим образом. Межрифовое пространство, существовавшее в кембрийскую эпоху, было занято обширной лагуной с повышенной солёностью воды. Здесь на протяжении ниже-среднего кембрия отлагались преимущественно галогенно-карбонатные лагунные осадки. По другую сторону рифовых барье-



## ПРОБЛЕМЫ НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЯ

ров в это время существовало два отдельных открытых морских бассейна, где накапливались глинисто-карбонатные глубоководные осадки доманикового типа. В целом условия осадконакопления в этих бассейнах были схожими, что и обусловило однотипность формирования низких коллекторских свойств пород в их пределах.

В дальнейшем, из-за поднятия северной части региона, их постседиментационные условия стали несколько отличаться. Так с юга, в пределах восточного борта Тунгусской синеклизы, породы залежали на более значительных глубинах по сравнению с одновозрастными отложениями Анабарской антеклизы, что отразилось на более высоких значениях их плотности и более низких значениях открытой пористости. Кроме того, на территории Тунгусской синеклизы в гораздо более широких масштабах проявился трапповый магматизм, что сказалось на прогреве и дополнительном уплотнении осадочных пород. Следует заметить, что большинство пройденных скважин в районе трубки Удачной тяготеют к юго-западному рифовому барьеру.

В пределах Далдыно-Мархинской банки в верхних частях разреза демонстрируется одна и та же лито-стратиграфическая последовательность. Ниже монотонной глинисто-карбонатной толщи верхнего кембрия лежит пачка обломочных кавернозных доломитов, характеризующаяся высокими емкостными показателями и мощностью до 300 м. Под ней – примерно 700-метровая толща массивных кавернозных эпифитоновых и обломочно-зернистых известняков нижне-среднего кембрия. Накопленные фактические данные свидетельствуют о том, что и латеральная распространенность основного обводняющего месторождение (среднекембрийского) водоносного комплекса, его параметры, геометрия горизонтов повышенной проводимости в пределах резервуара обусловлены не столько наличием тектонических зон, сколько предопределены общими законами карбонатонакопления, рифообразования, строения карбонатных платформ и карбонатных банок.

Рассмотрим особенности фациально-седиментационной структуры кембрийских толщ с карбонатным осадконакоплением. Как отмечалось ранее многими исследователями [4, 6], существенное отличие карбонатных отложений от терригенных заключается не только в их химическом составе, но, главным образом, в их происхождении. При этом наблюдается тесная связь формирования карбонатных пород с параметрами среды осадконакопления, а также в активном влиянии процесса их накопления на окружающую среду. Важной особенностью для палеорекострукций карбонатных образований считается то, что в отличие от терригенных, они не являются принесенными в бассейн седиментации, а образовались в нем. И чаще всего, на том же месте, где и переотлагаются. При этом формирование больших масс карбонатов (органогенных, строматолитовых построек и рифов) обусловлено не только способностью выделения карбоната кальция в тканях каркасо-

строителей (бактерий, водорослей, археоциат, и др.), но и огромной ролью в его осаждении из воды за счет биохимических процессов и, в частности, фотосинтеза. Это относится даже к таким образованиям, как оолиты и тонкие карбонатные илы, считавшимся долгое время типичными представителями хемогенных отложений.

В отличие от терригенных отложений, карбонатные относительно однообразны по химическому составу, который часто отражает не первичные условия осаждения, а легко проходящие многостадийные преобразования осадков и пород. В то же время карбонатные отложения необычайно резко дифференцируются по структурно-текстурным признакам и служат прекрасными индикаторами широкого спектра преимущественно мелководных обстановок. Другим важным отличием карбонатных отложений от силикатных осадков является их отношение к волновым воздействиям и колебаниям уровня моря. В результате таких воздействий силикатные породы разрушаются, истираются, многократно перемываются и выносятся в более глубоководную обстановку, нередко за сотни километров от побережья и еще дальше от материнского источника. В бассейнах с карбонатным накоплением циркуляция вод оказывает, помимо разрушающего воздействия, еще и преобразование, стимулирующее биохимическую продукцию, осаждение и цементацию, что приводит к необычайно быстрому закреплению осадка, к его литификации, наращиванию подводного рельефа и активному изменению окружающей обстановки. Скорости карбонатного осадконакопления на мелководном шельфе так велики, что почти любое погружение ложа или подъем уровня моря компенсируются практически синхронно. Поэтому в вертикальных разрезах трансгрессивные последовательности, с признаками углубления снизу вверх, особенно крупного ранга, крайне редки.

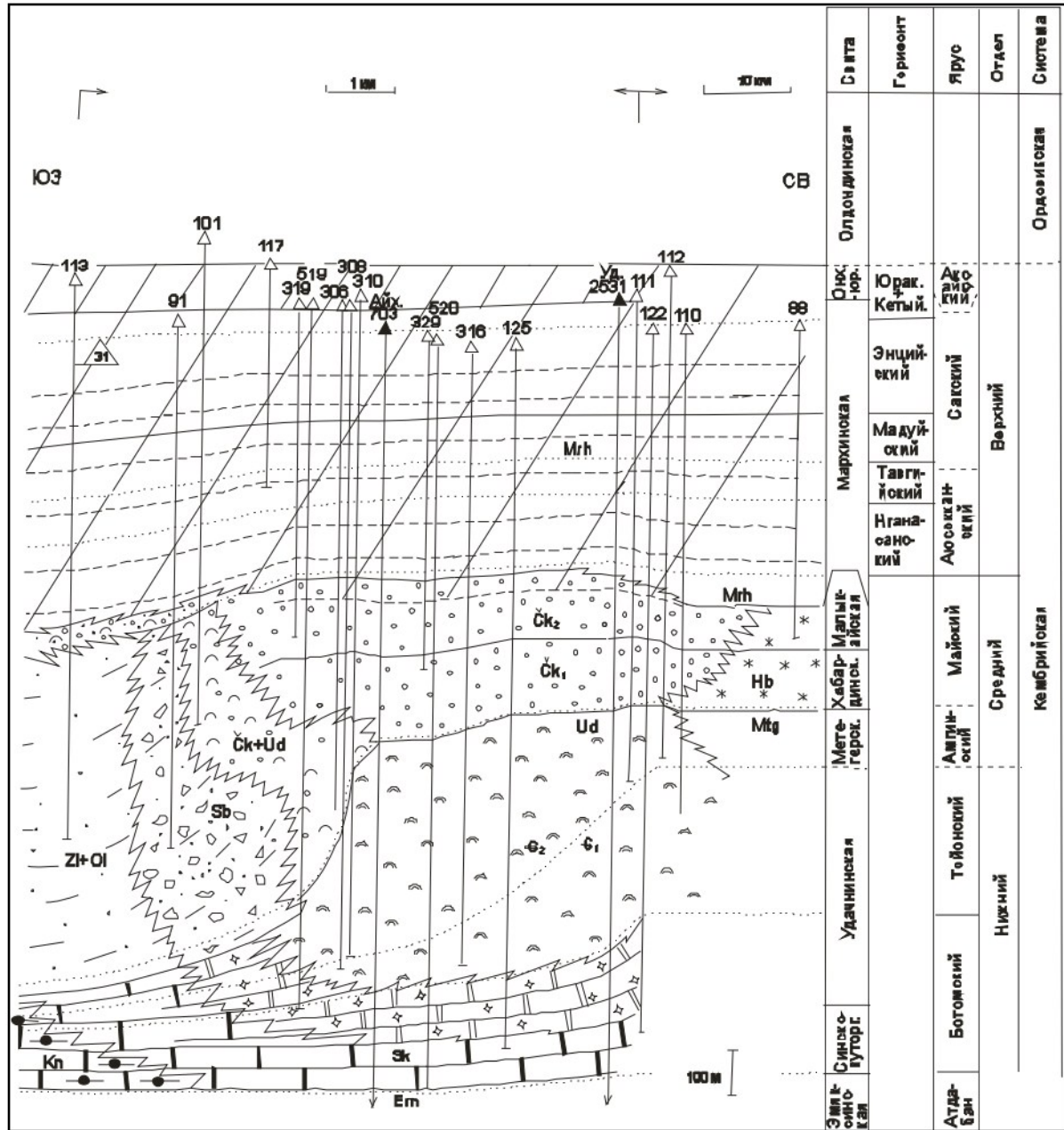
Наиболее типичны проградирующие (регрессивные) карбонатные толщи, формирующиеся в результате завоевания карбонатными шельфами соседствующих бассейнов, или впадин, а также бокового или латерального их заполнения. Периодический выход карбонатных отложений выше уровня моря вызывает их механическое разрушение, интенсивное химическое замещение (доломитизацию), перекристаллизацию, цементацию и карстообразование. Эти процессы развиваются в строгой зависимости от первичной седиментационной структуры пород шельфов и их окраин, от амплитуды и частоты колебаний уровня моря, а также и от других факторов. Таким образом, обстановка осадконакопления, её ландшафтно-морфологическая и гидрогеохимическая характеристика определяет не только состав отложений и структуру осадочных толщ, но и многие показатели состава подземных вод.

Такая строгая однотипность проявляется в стандартной последовательности изменения обстановок осадконакопления и фаций от берега к глубоководному бассейну. Во внутренней структуре карбонатных толщ существует устойчивая зависимость

## ПРОБЛЕМЫ НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЯ

карбонатообразования и карбонатонакопления от фациальных обстановок. Но, с другой стороны, карбонатное осадконакопление активно изменяет подводный ландшафт и определяет геометрию осадочных тел. Характерно, что результатом функционирования такой «фабрики» является не только закономерная латеральная последовательность фациальных зон, или поясов, но и в целом трансформация подводного рельефа и формирование гигантских тел с определенной внутренней и внешней структурой, в частности, с формированием различных строматолитовых построек (куполов, шаров).

Для изучения рифовых и связанных с ними образований важно то, что реконструкция палеоседиментационной структуры, прогноз ее изменения в пространстве строится не только на латеральной смене фаций, но и на палеогеоморфологическом анализе. Это включает восстановление геометрии тел и ограничивающих их поверхностей, форму трасируемых в пространстве изохронных уровней, соответствующих поверхностям дна, эволюцию палеорельефа. В основе этого лежат, прежде всего, лито- и биостратиграфические исследования.



**Рис.2. Палеоструктурный корреляционно-стратиграфический профиль через юго-западную окраину Далдыно-Мархинской банки на конец кембрийского периода [5]**

Представления о стратификации и седиментационной структуре кембрийских отложений северной части Якутии изменялось по мере появления новой информации. Ранее считалось [1], что внутренняя структура удачининской свиты и ее аналогов – хаотичное, без какой-либо закономерности чередование массивных линзовидных, штокообразных водорослевых биогермных построек самой разной конфигурации и размеров, а также обломочных известняков, имеющих в целом субгоризонтальное залегание. Та-

кое строение, исключало возможность детальной корреляции отложений от скважины к скважине (в отличие от верхнего кембрия). То же относилось и к лежащим выше пористо-кавернозным доломитам, которые, якобы, представляли собой базальную, по отношению к верхнекембрийской, толщу, выполнявшую неровности существовавшего до этого рельефа.

Установленное позднее варьирование глубины залегания кровли рифогенной удачининской свиты и мощности перекрывающей ее толщи кавернозных

## ПРОБЛЕМЫ НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЯ

доломитов связывалось как раз с резкой расчлененностью рифового рельефа, сформировавшегося к концу амгинского века, а также с наличием между этими стратонами перерыва, эрозии и несогласия. Толща пористо-кавернозных обломочных доломитов рассматривалась как генетически резко отличная от подстилающих отложений. Выявлены аналогичные удачининской свите нижне-среднекембрийские рифовые образования не только вблизи трубки Удачной, но по ряду скважин вдоль Мархинского вала, а также южнее п. Айхал.

Рассматривая разрез отложений, далее отметим, что за рифовым фронтом следуют и все тыльно-рифовые фации. Поэтому на самом рифовом плато без какого-либо перерыва в результате незначительного понижения уровня моря в майском веке начинает формироваться карбонатный отмельно-баровый комплекс – толща пористо-кавернозных доломитов. Ее строение необходимо охарактеризовать более детально. В свое время генезис этой толщи был определен как лагунно-сабховый. Основным доводом в пользу такого происхождения было присутствие в этой толще пород галита. Считалось, что  $NaCl$  является первичным цементом доломитовых оолитовых зерен, составляющих основную массу породы. В настоящее время, когда верхняя половина этой пачки пород хорошо прослежена по всему Далдино-Алакитскому району, можно с уверенностью утверждать, что вся толща доломитов в юго-западном направлении от трубки Удачной замещается отложениями, содержащими большее количество органогенных построек и карбонатного кластогенного материала. В северо-восточном же направлении отчетливо прослеживается уменьшение этих отложений, возрастание сначала сортированности и количества оолитовых зерен и одновременное уменьшение илистого цемента, а затем – возрастание глинистости.

Такая пространственная фациальная зональность идентична триаде стандартных фациальных поясов Дж.Л.Уилсона [6]. К тому же, галит, заполняющий поры доломитизированных песчаников, явно связан с миграцией флюидов и не является первичным. Карбонатно-баровый генезис подчеркивается и захороненным рельефом этих отложений. Специфика осадконакопления в майском веке в пределах Далдино-Мархинской банки состоит в том, что в результате относительного понижения уровня моря в это время установился субаэральный режим. Поступающий в большом количестве тонкий силикатный материал, во-первых, препятствовал росту органогенных построек, а во-вторых, сглаживал подводный рельеф окраин бассейнов. Территория же Далдино-Мархинской банки, видимо, была защищена от эолового переноса силикатного материала с соседней карбонатной платформы Айхальским проливом (залливом или депрессией). Поэтому на юго-западной стороне банки продолжалось достаточно интенсивное карбонатонакопление.

Пояс рифовых образований удачининской свиты района трубки Удачной в поперечном сечении не

превышал 5-7 км, но последовательно незначительно смещался на юго-запад, в результате чего его суммарная ширина (в стратиграфических пределах от ботомского до амгинского ярусов включительно) достигла около 15 км. На завершающих стадиях формирования удачининского барьерно-рифового комплекса крутизна подводного склона достигала 10-15° и более. В пределах юго-западного борта карбонатной банки выделена полосообразная геологическая структура – Далдынская флексура (с повышенными, на 1-2 порядка, значениями коэффициента водопроницаемости пород средне- и нижнекембрийского водоносных комплексов). По осевой части Далдынской флексуры проходит краевая часть рифового барьерного пояса. Здесь, как и на юго-западном крыле структуры, широко распространены эпифитоновые известняки, в то же время они практически отсутствуют в северо-восточном крыле. Оценивая регион на юго-восток и северо-запад от Далдынской флексуры, можно отметить наличие аналогичных структур осадочного чехла (Мархаринская, Алакитская и другие флексуры).

Рассматривая разрез вмещающих пород вблизи трубки Удачной, можно условно выделить по значениям открытой пористости и плотности пород пять резко отличающихся толщ. Верхняя толща (0–690 м), в объеме моркокинской ( $E_3mrk$ ) и мархинской ( $E_3mrh$ ) свит верхнекембрийских отложений, а также известняково-доломитовой толщи ( $E_2id$ ), характеризуется существенным разбросом значений открытой пористости – от десятых долей до 10–11%. В данном интервале разреза преобладают породы с открытой пористостью от 0 до 4%, на долю которых приходится 70% всех определений. Доля максимальных значений (8-10%) открытой пористости составляет около 9% из всех проанализированных проб. По результатам лабораторных исследований показатели открытой пористости пород могут достигать 26,2%, значения плотности колеблются в пределах 2,18–2,8 г/см<sup>3</sup>, проницаемости – от 0 до 473,0 мД. При этом самые высокие значения проницаемости характерны, главным образом, для известняково-доломитовой толщи среднего кембрия. В пределах полосообразной зоны Далдынской флексуры проницаемость пород по отдельным образцам может достигать 9129,2 мД, а значение плотности – составлять 2,02 г/см<sup>3</sup>, при значениях открытой пористости до 29,5%. Эта полоса, шириной в среднем 2,5 км, протягивается параллельно юго-западному рифовому барьеру.

Вторая толща (690–1017 м) приурочена к верхней части удачининской свиты, сложенной непосредственно рифовыми отложениями. В основном, вся эта толща характеризуется весьма низкими значениями (менее 1%) открытой пористости и высокими значениями (>2,7 г/см<sup>3</sup>) плотности. Эта толща с определенной долей условности может диагностироваться как водоупорная. При этом следует отметить, что водоупорные свойства присущи только рифовым биогермным постройкам. Одновозрастные с ними отложения, залегающие между рифовыми барьерами,



существенно отличаются своими фильтрационно-емкостными свойствами. Значения коэффициента открытой пористости пород могут достигать 3–9%, а коэффициента проницаемости до 2 мД.

Третья толща (1017–1339,5 м) приурочена к подошвенной верхней части удачининской свиты, относящейся к ниже-среднекембрийским отложениям. В этой части разреза породы характеризуются высокой плотностью (2,8–3,0 г/см<sup>3</sup>). Значения открытой пористости по лабораторным замерам не превышают 4%, однако визуально по керну отмечаются интервалы со значительными кавернами. Кроме того, в интервале глубин 1020,0–1339,5 м скважинами 201 и 2621 вскрыта зона интенсивной кавернозности и трещиноватости пород. Все попытки закрепить стенки скважин в этом интервале не дали положительного результата. Эти факты свидетельствуют о наличии зон значительной протяженности с высокой трещинной проницаемостью.

Таким образом, в пределах межрифовой зоны наиболее высокими показателями фильтрационно-емкостных свойств обладают породы известняково-доломитовой толщи ( $E_2id$ ), верхней части удачининской свиты ( $E_{1-2ud_2}$ ) и эмяксинской свиты ( $E_1em$ ). Наиболее низкие, практически водоупорные показатели характерны для биогермных эпифитоновых рифовых построек, манькайской и старореченской свит. Кроме этого, межрифовая зона характеризуется наличием в юго-западной части разреза полособразной структуры в известняково-доломитовой толще (район трубки Удачной) с повышенными фильтрационно-емкостными показателями пород. Это главным образом связано с характером разрушения рифовых отложений и образованием на склонах геологической структуры межзерновой пустотности, которая изменяется с удалением от рифового барьера. По аналогии с граничным бортом резервуара, вблизи северо-восточного рифового барьера следует также ожидать наличие такой же полосы в разрезе известняково-доломитовой пачки.

Таким образом, вскрытые на руднике «Удачный» в удачининской свите подземными горными выработками опасные по устойчивости зоны, которые характеризуются вывалами больших объемов пород, связаны не со структурно-тектонической обстановкой

на месторождении, а с фациально-седиментационными условиями осадкообразования кембрийских толщ. Детальное изучение строения прилегающих к трубке Удачной осадочных пород позволило ранее выделить особую криогидрогеологическую структуру – Далдынскую флексуру, обладающую повышенными фильтрационно-емкостными показателями пород в интервале известняково-доломитовой толщи, и с которой, в основном, связано обводнение месторождения. Строматолитовые штоко- и шарообразные карбонатные постройки, обладающие способностью к вывалообразованию, фиксируются и приурочены, в основном, к юго-восточной от месторождения периферийной части карбонатной толщи рифового барьера. Для прогнозирования таких опасных зон необходим полный фациально-седиментационный анализ всех материалов по местам вскрытия подземными горными выработками ниже-среднекембрийских отложений удачининской свиты в рифогенной Далдыно-Мархинской структуре.

#### Литература

1. Дроздов А.В. К вопросу о формировании криогидрогеологических структур Сибирской платформы // Наука и образование. – 2004. – №4. – С. 62 – 69.
2. Дроздов А.В., Мельников А.И. Особенности строения многофазных кимберлитовых трубок (на примере трубки Удачной) // Маркшейдерия и недропользование. – 2009. – №1. – С. 31 – 38.
3. Дроздов А.В., Мельников А.И. Оценка структурно-тектонической обстановки – основа газогидрогеодинамического районирования месторождения (на примере трубки Удачной) // Маркшейдерия и недропользование. – 2011. – №4. – С. 35 – 39.
4. Кузнецов В.Г. Геология рифов и их нефтегазоносность. – М.: Недра, 1978. – 289 с.
5. Сухов С.С. Фациально-стратиграфическая модель Далдыно-Мархинской банки иллюстрация закономерностей карбонатонакопления на Сибирской платформе // Литология и нефтегазоносность карбонатных отложений / Материалы Второго Всероссийского литологического совещания и Восьмого Всероссийского симпозиума по ископаемым кораллам и рифам. – Сыктывкар: Геопринт, 2001. – С. 237 – 239.
6. Уилсон Дж.Л. Карбонатные фашии в геологической истории. – М.: Недра, 1980. – 462 с.

---

Александр Викторович Дроздов, канд. геол.-мин. наук, зав. лабораторией горно-геологических проблем разработки месторождений, институт Якутнипроалмаз, АК «АЛРОСА», тел.: (41136) 92038, E-mail: drosdovav@list.ru;  
Александр Иванович Мельников, д-р геол.-минер. наук, вед. научн. сотр. ФБГУН Институт земной коры СО РАН, тел.: (3952) 428273, E-mail: mel@crust.irk.ru

УДК 311

В.В.Керченский, В.В.Яхеев

## КЛАССИФИКАЦИЯ МЕТОДОВ, ИНДЕКСОВ И КРИТЕРИЕВ ПО ОБЛАСТЯМ ПРИМЕНЕНИЯ В ОДНОМЕРНОМ И МНОГОМЕРНОМ СТАТИСТИЧЕСКОМ АНАЛИЗЕ

Создана классификация, показывающая области применения относительного и разностного многомерных критериев сравнения Яхеева и других статистических методов, индексов и критериев в одномерном и многомерном статистическом анализе.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** одномерный статистический анализ; многомерный статистический анализ; метод; индекс; критерий; относительный многомерный критерий сравнения Яхеева; разностный многомерный критерий сравнения Яхеева.

V.V.Kerchensky, V.V.Yakheev

## CLASSIFICATION METHODS, INDICES AND CRITERIA FOR APPLICATION AREAS IN THE UNIVARIATE AND MULTIVARIATE STATISTICAL ANALYSIS

Established classification, showing the scope relative and difference multidimensional comparison criteria of Yaheev and other statistical methods, indices and criteria in the univariate and multivariate statistical analysis.

**KEY WORDS:** univariate statistical analysis; multivariate statistical analysis; method; index; criterion; relative multivariate criterion comparing of Yakheev; differential multivariate criterion comparing of Yakheev.



В.В.Керченский



В.В.Яхеев

Нет ни одной отрасли знания и промышленности, в том числе и горной, где бы ни использовалась статистика. Она делится на два основных направления:

- одномерная статистика (статистика случайных величин), в которой результат наблюдения описывается одним действительным числом;
- многомерный статистический анализ (много-

мерная статистика), где результат наблюдения описывается  $n$ -мерным вектором [1].

В настоящее время существует большое число методов, индексов и критериев статистики [2,3], которые постоянно расширяются. В работе [4] предложен многомерный критерий сравнения, который впоследствии стал называться относительным, после открытия разностного многомерного критерия сравнения Яхеева [5].

Целью нашей статьи является создание классификации, показывающей отличие по областям применения относительного и разностного многомерных критериев сравнения (ОМКС и РМКС) Яхеева, от других статистических методов, индексов и критериев, что представлено в таблице.

Таблица

Классификация статистических методов, индексов и критериев по областям применения

Одномерная статистика		Многомерная статистика	
Наименование индекса/критерия/метода	Область применения	Наименование индекса/критерия/метода	Область применения
ВВП	Для оценки экономической мощи страны. 1 показатель (доход) по $K$ -объектам (предприятиям).	Корреляционно-регрессионный анализ	Построение модели связи между двумя величинами различной природы. Два или $K$ -объекта $n$ -мерных природы.
Индексы Пааше, Ласпейраса, Фишера, Дюто, Карли, Эджворта-Маршалла	Для оценки изменения цен товаров. 1 показатель (цена) по $K$ -объектам (товарам).	Кластерный анализ (таксономический метод)	Для различения многих объектов по количественным показателям при помощи матрицы расстояний. $K$ -число объектов, $n$ -мерной природы.
Индекс Доу-Джонса, Стэндарда-Пура, РТС и индексы других бирж	Для оценки изменения цен акций, ценных бумаг на рынке ценных бумаг. 1 показатель (цена акции) по $K$ -объектам (предприятиям).	Факторный анализ	Для различения многих объектов по количественным показателям при помощи матрицы корреляций. $K$ -число объектов, $n$ -мерной природы.
Кривая Лоренца, коэффициент Джини, индекс Робин Гуда (Гувера)	Для оценки неравенства доходов (бедности) населения. 1 показатель (доход) по 1-объекту (доле населения).	Метод многомерной средней	Для различения многих объектов по интегральной отнормированной многомерной средней многих показателей. $K$ -число объектов, $n$ -мерной природы.
Коэффициент рождаемости, прироста, плодovitости, смертности и т.д.	Воспроизводство населения. 1 показатель (рождаемость и т.д.) по 1-объекту (население).	Относительный многомерный критерий сравнения Яхеева	Для оценки инноваций, различения двух объектов по интегральной отнормированной многомерной средней отношений многих количественных и качественных показателей. 2-а $n$ -мерных объекта (Для $K$ -объектов последовательная итерация).
Различные индексы	Для решения различных задач. 1 показатель по 1-у или $K$ -объектам.	Разностный многомерный критерий сравнения Яхеева	Для оценки инноваций, различения двух объектов по по интегральной отнормированной многомерной средней разницы многих количественных и качественных показателей. 2-а $n$ -мерных объекта (Для $K$ -объектов последовательная итерация).



Широкое использование индексов в экономико-статистической практике объясняется свойствами этих показателей: во-первых, взаимосвязью частных и общих индексов, что обеспечивает возможность последовательного агрегирования расчетов - по товарам и товарным группам, по территориям, по стране в целом и т.д.; во-вторых, взаимосвязями между индексами разных показателей - урожайности и валового сбора, производительности труда; в-третьих, относительной простотой составления и расчета широкого ряда индексов. Последнее, возможно, обусловило обширное распространение и популярность индексов, так как поверхностный первичный анализ с их помощью может провести практически любой человек, не обладая при этом особыми математическими навыками. Например, такие известные всем показатели, как ВВП (валовой внутренний продукт), индекс Дюу-Джонса и другие индексы, представленные в таблице, имеют очень простые формулы расчета, решают различные задачи и используются повсеместно [3].

Однако простота составления и расчета индексов имеет и обратную сторону. Им не по силам решение сложных задач многомерной статистики, что наглядно видно из классификации.

Для решения задач многомерной статистики были разработаны различные методы, в частности корреляционный и регрессионный анализ [6]. Корреляционная зависимость - это статистическая взаимосвязь двух или нескольких случайных величин (либо величин, которые можно с некоторой допустимой степенью точности считать таковыми). При этом изменения значений одной или нескольких из этих величин сопутствуют систематическому изменению значений другой или других величин. Регрессионный анализ - статистический метод исследования влияния одной независимой переменной на зависимые переменные. Область применения этих методов - построение модели связи между двумя величинами различной природы.

Кластерный анализ (устаревшее понятие таксономический метод) - многомерная статистическая процедура, выполняющая сбор данных, содержащих информацию о выборке объектов, и затем упорядочивающая объекты в сравнительно однородные группы при помощи матрицы расстояний [8, 9]. Кластерный анализ опирается на «гипотезу компактности»: все близкие объекты должны относиться к одному кластеру. Также предъявляются два фундаментальных требования к данным - однородность и полнота. Однородность требует, чтобы все кластеризуемые сущности были одной природы и описывались сходным набором характеристик [7].

Факторный анализ - многомерный метод, применяемый для изучения взаимосвязей между значениями переменных. Предполагается, что известные переменные зависят от меньшего количества неизвестных переменных и случайной ошибки. Он решает две цели: определение взаимосвязей между переменными (классификация переменных) и сокращение числа переменных, необходимых для описания дан-

ных.

При кластерном и факторном анализе все признаки должны быть количественными. Решение задач факторным и кластерным анализами принципиально неоднозначно, как считает ряд авторов.

Метод многомерной средней (ММС) позволяет ранжировать многомерные объекты на группы по отнормированной многомерной средней, то есть одним числом [9]. Это наиболее простой и наиболее действенный из рассмотренных методов многомерного статистического анализа.

Прототип относительного многомерного критерия сравнения (ОМКС) [10] показывал отличие краевой от основной зоны по выбросоопасности. Вследствие этого, область применения ОМКС и РМКС более узкая, чем у ММС, и работает всего с 2 объектами, причем выделяемыми другими методами. Поэтому ОМКС и РМКС идеально подходят для оценки инноваций в технологии [4]. Сравнивается новая технология со старой по интегральной, числовой оценке.

Математический аппарат ОМКС наиболее близок к ММС, и многие их путают. Однако отличие заключается в том, что здесь берется не отнормированная многомерная средняя, а отношение отнормированных многомерных средних. Вследствие этого ОМКС более чувствительный и информативный метод, чем ММС, так как работает с отношением, непосредственно показывающим отличие между двумя объектами. Недостаток узости применения ОМКС по обследованию и сравнению всего 2-х объектов, можно преодолеть путем последовательного сравнения одного объекта, принятого за базовый, с неограниченным числом других объектов, причем не только по количественным данным, как в ММС, но и по качественным, для чего разработан алгоритм [11].

Впоследствии был разработан РМКС, который работает не с отношением, а с разницей отнормированных многомерных средних, поэтому РМКС может работать с показателями, которым имманентно свойство принимать нулевые значения, чего не может ОМКС. Все остальные достоинства и недостатки РМКС, как и у ОМКС.

### Выводы

1. Впервые разработана классификация статистических методов, индексов и критериев по областям применения в табличной форме.
2. Все методы, индексы и критерии статистического анализа имеют строго определенную область применения, поэтому они не могут заменить друг друга, и каждый из них имеет право на жизнь.
3. В силу простоты составления и расчета индексов - это одномерная статистика, однако, область их применения обширна, охватывает все стороны человеческой деятельности.
4. Область применения корреляционной зависимости - это статистическая взаимосвязь двух и более случайных величин от систематического изменения значений других величин.
5. Регрессионный анализ - статистический метод исследования влияния одной независимой пере-

## ПРОБЛЕМЫ НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЯ

менной на зависимые переменные. Область применения этих методов - построение модели связи между двумя величинами различной природы.

6. Кластерный анализ (устаревшее понятие таксономический метод) - многомерная статистическая процедура, выполняющая сбор данных, содержащих информацию о выборке объектов, и затем упорядочивающая объекты в сравнительно однородные группы при помощи матрицы расстояний.

7. Факторный анализ - многомерный метод, применяемый для изучения взаимосвязей между значениями переменных. Предполагается, что известные переменные зависят от меньшего количества неизвестных переменных и случайной ошибки. Он решает две цели: определение взаимосвязей между переменными (классификация переменных) и сокращение числа переменных, необходимых для описания данных.

8. Метод многомерной средней (ММС) позволяет ранжировать многомерные объекты на группы по отнормированной многомерной средней, то есть одним числом. Это наиболее простой и наиболее действенный из рассмотренных методов многомерного статистического анализа.

9. Относительный и разностный многомерный критерий сравнения (ОМКС и РМКС) Яхеева работает всего с 2 объектами, причем выделяемыми другими методами. Поэтому ОМКС идеально подходит для оценки инноваций в технологии. Здесь оценивается всегда 2 объекта: новая и старая технология по  $n$ -показателям, не только количественным, но и качественным, для чего разработан соответствующий алгоритм.

10. Отличие математического аппарата ОМКС и РМКС от ММС заключается в том, что здесь берется не отнормированная многомерная средняя, а отношение (разница) отнормированных многомерных средних. Вследствие этого ОМКС и РМКС - более чувствительный и информативный метод, чем ММС, так как непосредственно работает с отношением (разницей), непосредственно показывающим отличие между двумя объектами.

11. Узость применения ОМКС и РМКС по обследованию и сравнению всего 2-х объектов можно преодолеть путем последовательного сравнения одного объекта, принятого за базовый, с неограниченным числом других объектов.

12. РМКС Яхеева работает с разницей отнормированных многомерных средних, поэтому он может оперировать с показателями, которым имманентно свойство принимать нулевые значения, чего не может ОМКС.

### Литература

1. Математическая энциклопедия, т. 3. 1982.
2. Общая теория статистики: учебник для студентов вузов, обучающихся по специальностям экономики и управления/А.М. Илышев. – М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2008.- 535 с.
3. Статистика: учебник для студентов вузов, обучающихся по специальностям экономики и управления/ Э.К. Васильева, В.С. Лялин. – М.:ЮНИТИ-ДАНА,2007. – 399 с.
4. Яхеев В.В. Разработка многомерного критерия сравнения (критерия Яхеева) для выбора инновационной технологии. Актуальные проблемы экономики современной России: Сборник научных трудов (под ред. А.А.Оводенко) СПб.: ГУАП. СПб., 2010. с.173-176.
5. Яхеев В.В. Вывод разностного многомерного критерия сравнения Яхеева для выбора инновационной технологии. Вестник Государственной полярной академии №2 (15) 2012, с.46-49.
6. Ферстер Э., Рёнц Б. Методы корреляционного и регрессионного анализа. Methoden der Korrelation - und Regressionsanalyse., М.: Финансы и статистика, 1981.- 302 с.
7. Факторный, дискриминантный и кластерный анализ: Пер.с англ./Дж.-О.Ким, Ч.У.Мьюллер, У.Р.Клекка и др.; Под ред. И.С.Енюкова –М.: Финансы и статистика, 1989-215 с.
8. Плюта В. Сравнительный многомерный анализ в экономических исследованиях: Методы таксономии и факторного анализа / Пер. с пол. В.В. Иванова; Науч. Ред. В.М. Жуковской. М.: Статистика, 1980 -151 с.
9. Близоруков М.Г. Количественные методы анализа многомерных величин.-Урало-Сибирский институт бизнеса; Издательство АМБ, 2006 – 68 с.
10. Яхеев В.В. Многомерный критерий сравнения выбросоопасности двух геологических зон месторождений полезных ископаемых. Известия ВУЗов Горный журнал. № 3-1987 - с.73-76.
11. Яхеев В.В., Логина Е.В. Совершенствование многомерного критерия сравнения (МКС Яхеева) по учету качественных параметров в выборе инновационной технологии. Труды Вольного экономического общества России. Выпуск XIV. Современное экономическое и социальное развитие: проблемы и перспективы. СПб.2010. с.442-449.

---

Валерий Васильевич Яхеев, канд.техн. наук, с.н.с., доцент кафедры "Экономики и финансов», тел. 8-911-097-56-30, E-mail: yakvaleri@yandex.ru;  
Владимир Валерьевич Керченский, аспирант кафедры "Экономики и финансов», тел.8(812) 342-63-52, E-mail: ker-vladimir@mail.ru  
(Государственная полярная академия, г.Санкт-Петербург)



УДК 528

В.Г.Бурачек

## О ПЕРСПЕКТИВЕ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДА АСТРОНОМИЧЕСКОГО НИВЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ПОИСКА И ОБСЛЕДОВАНИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ УГЛЕВОДОРОДОВ

Представлен метод астрономического нивелирования для поиска и обследования месторождений углеводородов. Рассмотрен вариант технологии для определения уклона отвесных линий с применением астрономического зенитного прибора, дано техническое обоснование предпосылок обеспечения высокой точности измерений.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** астрономическое нивелирование; зенитный астрономический прибор; отвесные линии; гравитационная поверхность.

V.G.Burachek

## APPLICATION OF THE METHOD OF ASTRONOMICAL LEVELING TO SOLVE THE PROBLEM OF SEARCH AND EXAMINATION OF HYDROCARBON DEPOSITS

The method for finding astronomical leveling survey and hydrocarbon deposits is presented. A variant of the technology to determine the plumb lines using astronomical zenith instrument, given the technical rationale prerequisite for high accuracy measurements.

**KEY WORDS:** astronomical leveling; zenithal astronomical device; sheer line; surface gravity.



**Постановка проблемы.** В аспекте поиска и обследования залежей углеводородов существующий астрономо-гравиметрический метод определения поверхности квазигеоида имеет ряд недостатков, в том числе весьма большую трудоемкость комплекса астрономических, геодезических и гравиметрических

полевых измерений и недостаточно высокую точность рабочих реперов. Это связано прежде всего с традиционным подходом «от общего к частному» (понижение точности по цепочке: фундаментальная сеть, опорные сети и, наконец, рабочие реперы и гравиметрические карты). Кроме того, существующая методика обработки вышеупомянутых измерений содержит интерполяции, сглаживающие измеренную конфигурацию приземной гравитационной поверхности с заданным потенциалом  $W$ . Наличие в комплексе такого трудоемкого и проблемного компонента, как высокоточное геометрическое нивелирование значительно усложняет решение общей задачи.

В данной статье представлена попытка упростить технологию определения формы приземной гравитационной поверхности за счет развития метода астрономического нивелирования для применения на локальных территориях.

**Обзор предыдущих публикаций.** Метод астрономо-гравиметрического нивелирования (АГН) предусматривает определение высот квазигеоида (ВКГ) над референц-эллипсоидом с использованием астрономо-геодезических уклонов отвеса и данных региональной гравиметрической съемки. Метод позволяет с помощью высокоточного геометрического нивелирования определять вертикальные координаты точек земной поверхности в системе принятого референц-эллипсоида, при этом данные гравиметрической съемки используют для учета нелинейности изменения уклонов отвеса между астропунктами.

Превышение квазигеоида определяется как сумма результата, даваемого обычным астрономическим нивелированием (расстояние между астропунктами 70-100 км), и гравиметрической поправки, вычисляемой по гравиметрическим данным. При этом аномалии ускорения силы тяжести должны быть известны в некоторой области  $\Sigma$  вокруг каждой пары астропунктов [1,2].

В расчете используют разности астрономо-геодезических координат и соответствующих гравиметрических уклонов отвеса, причем последние вычисляют по аномалиям круговых областей вокруг каждого астропункта.

Формула для расчета превышений между смежными астропунктами в методе АГН имеет вид:

$$\Delta\zeta = \zeta_B - \zeta_A = -(\delta\Theta_A + \delta\Theta_B) + \left( \zeta_B^{\phi_0} - \zeta_A^{\phi_0} \right) \quad (1)$$

Величины  $\delta\Theta$  первого слагаемого правой части представляют собой разности астрономо-геодезических координат и соответствующих гравиметрических уклонов отвеса, причем последние вычисляют по аномалиям круговых областей радиусом вокруг каждого астропункта по формуле Вининг-Мейнеса. Величины  $\zeta$  во втором слагаемом получают по формуле Стокса.

Метод АГН позволяет определять астрономо-геодезические ВКГ только в астропунктах, по которым передавались превышения путем их последовательного суммирования, начиная от исходного пункта. При построении детальных точных карт квазигеоида на всю изучаемую территорию возникает проблема интерполяции точек различной густоты в зависимости от аномальности района. Линейная интерполяция по узловым точкам с шагом 70-100 км приводит к сглаживанию изображаемых на карте высот и к понижению точности их вычисления.

В правой части формулы (1) первое слагаемое зависит от плавно меняющихся с расстоянием уклонов отвеса вследствие влияния аномалий средних

## ГЕОДЕЗИЯ, МАРКШЕЙДЕРИЯ, ГИС

(и дальних) зон, а второе – учитывает аномальность гравитационного поля в окрестности каждой конкретной точки (в том числе пунктов, между которыми определяется превышение). В итоге, имея набор высот квазигеоида, путем простой интерполяции формируют карту [1].

Метод астрономического нивелирования (АН) позволяет путем интегрирования составляющей астрономо-геодезических уклонов отвеса вдоль избранной трассы нивелирования определять приращение высот квазигеоида вдоль этой трассы.

В методе астрономического нивелирования уклоны  $\vartheta$  получают из астрономических и геодезических измерений по формуле [2]:

$$\vartheta = \xi_{ar} \cos A + \eta_{ar} \sin A, \quad (2)$$

где  $\xi_{ar}'' = \varphi - B - 0,171'' H \sin 2B$ ,  $\eta_{ar}'' = (\lambda - L) \cos B$  – измеренные составляющие  $\vartheta$  в плоскостях меридиана и первого вертикала;  $A$  – азимут вертикальной плоскости, в которой расположен данный отрезок линии нивелирования.

В каждой точке хода астрономического нивелирования должны быть измерены астрономические и геодезические координаты.

Для геологической интерпретации аномалий изучают геологические особенности месторождения или района, плотности пород и руд и выполняют теоретические расчеты гравитационных аномалий. Часто интерпретация осложняется тем, что аномалии от одного геологического объекта накладываются на аномалии от соседних объектов, что вызывает необходимость разделять на составляющие наблюдаемый суммарный гравитационный эффект, при этом учитывают добавочную геологическую и геофизическую информацию.

Разделение аномального гравитационного поля на составляющие состоит в том, что выделяются аномалии, обусловленные гравитационным эффектом неоднородной плотности определенного структурно-литологического комплекса.

В настоящее время широкое применение получили гравиметрические методы для прямых поисков

залежей нефти и газа, которые базируются на том, что плотность этих залежей всегда меньше плотности окружающих пород. Для решения этой задачи требуется очень высокая точность гравиметрических, топографических измерений в комплексе с другими геофизическими методами [3].

Для небольших и нечетко выраженных аномалий необходимо повышение точности определения гравитационной поверхности.

В ряде случаев на разрабатываемых месторождениях возникает проблема – закрывать тот или иной участок месторождения или продолжать работы, оценить сроки эксплуатации. Для этого проводится полевое обследование, требования к точности которого, как правило, повышены. Да и при поиске месторождений углеводородов необходимо повышение точности, т.к. в современных условиях развития энергетики нельзя пренебрегать даже небольшими месторождениями.

Заметим, что точность современных рабочих полевых гравиметров достаточно высока (не хуже 20 мкГал), однако для реализации этой точности в методе АН требуется высокоточное геометрическое нивелирование, что в труднодоступной местности часто является неразрешимой задачей.

Существующую проблему можно показать на примере анализа состояния и план-прогноза развития опорной гравиметрической сети Украины [4], где авторы отмечают, что для того, чтобы опорная геодезическая сеть отвечала современным требованиям по гравиметрическому обеспечению задач геодезии, геологии и геофизики, параметрам аналогичных сетей ведущих европейских стран и требованиям Международной геодезической ассоциации, сеть должна отвечать критериям плотности пунктов, а также не превышать ошибок определения ускорения свободного падения, принятых в Европе.

При этом авторы приводят данные о характеристиках существующей и проектируемой гравиметрической сетей, которые показаны в табл.1. Плотность пунктов каждого класса сети в таблице приведена с учетом пунктов сетей высших классов.

Таблица 1

Класс сети	Существующая сеть			Требования к модернизированной сети		
	Количество пунктов	Точность определения $g$ , мкГал	Плотность сети (1 пункт на ... км <sup>2</sup> )	Количество пунктов	Точность определения $g$ , мкГал	Плотность сети (1 пункт на ... км <sup>2</sup> )
Фундаментальная	-	-	-	40	5	15000
1 класс	18	30	33500	20	10	2500
2 класс	126	35	4200	5800	10	100
3 класс	3760	30	155	6000	15	50

Как видно из таблицы, современные требования к точности опорной гравиметрической сети весьма высоки и предполагают серьезные вложения и трудозатраты.

Поиски новых решений в направлении примене-

ния астрономо-геодезического метода в автоматизированном варианте обуславливают предпосылки повышения точности определения формы гравиметрической поверхности для локальных участков по уклонам отвесных линий (УОЛ) и использования этих

данных для оценки геологической ситуации в подкорковых массах [5].

**Постановка задачи исследования.** Напомним, что метод АГН был разработан Молоденским М.С. в 30-40-е годы прошлого века. В то время астрономические наблюдения выполнялись визуальными приборами (астрономическими универсалами) без какой-либо автоматизации, из-за чего высокоточные измерения УОЛ были весьма трудоемкими, и в этой ситуации применение высокоточного нивелирования и гравиметрических работ сделали метод АГН более рентабельным по сравнению с методом АН.

В XXI веке интенсивный переход к автоматизированным и компьютеризированным технологиям существенно изменяет подход к решению исследуемой проблемы.

В частности, для измерений на спутниках применяются малогабаритные звездные датчики, обеспечивающие определение положения звезды с точностью до десятых долей угловой секунды. Широко применяются современные серийные нивелиры, содержащие высокоточные компенсаторы для автоматической установки визирной оси в горизонтальной плоскости (соответствующей положению отвесной линии) с точностью не хуже  $\pm 0,3''$ .

Современная элементная база – компьютеры, ПЗС-матрицы, компактные электронные блоки – позволяет создавать малогабаритные автоматические полевые астрономические приборы высокой точности. Поэтому весьма перспективным представляется определение уклонов отвесных линий методом астрономического нивелирования с помощью автоматизированных зенитных приборов.

В [6] описано устройство для реализации методики определения УОЛ, позволяющее определять астрономические координаты по наблюдениям звезд в зените. В частности, способ определения УОЛ с применением переносных зенитных камер позволяет решить задачи полевых измерений с получением достаточно высокой точности и сокращением трудоемкости по сравнению с традиционным подходом [7].

Недостатком способа является малое время экспозиции рабочей звезды вследствие необходимости поворота камеры вокруг вертикальной оси на  $180^\circ$  между двумя полуприемами наблюдений, что влияет на точность измерений.

Ниже рассмотрим возможность применения зенитного прибора для реализации метода АН при исследовании формы гравитационной поверхности в аспекте решения задач геофизики, в частности, оценки распределения плотности подкорковых масс в районах залежей углеводородов.

Поставленная задача решается созданием способа определения положения отвесных линий, основанного на измерении положения рабочей звезды вблизи зенита двумя приемами с поворотом алидады астроприбора вокруг вертикальной оси на  $180^\circ$  с последующим вычислением астрономических координат пункта и уклона отвесной линии, используя геодезические координаты пункта [8]. Способ отлича-

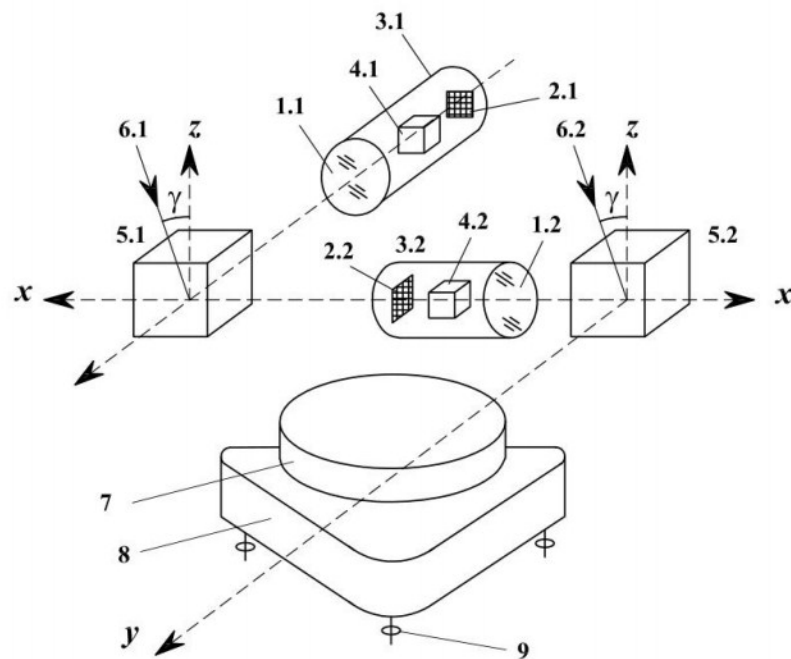
ется тем, что в каждом приеме выполняются измерения в двух оптико-электронных каналах широты и долготы с интервалом времени между полуприемами определения координат, которое используют для успокоения компенсаторов горизонта. В канале широты линию визирования ориентируют в плоскости первого вертикала, а в канале долготы – в плоскости меридиана, измеряя величины расхождений изображений траекторий рабочей звезды в каждом канале по результатам двух полуприемов.

Достоинством способа является возможность автоматизации всех операций измерений, повышение точности определения астрономических координат пункта, точности определения УОЛ и формы реальной гравитационной поверхности в целом при высокой плотности рабочих астропунктов.

На рис.1 показана схема построения предложенного зенитного астроприбора [9].

На схеме показано:

1. объективы каналов (1.1 – канала долготы, 1.2 – широты);
2. многоэлементные фотоприемные матрицы (2.1 – долготы и 2.2 – широты соответственно);
3. корпус оптической трубы канала (3.1 – канала долготы и 3.2 – широты);
4. компенсаторы горизонта (4.1 – канала долготы и 4.2 – широты);
5. оптические отклоняющие блоки (5.1 – канала долготы и 5.2 – широты);
6. световой поток от рабочей звезды, падающий на объективы 1.1 и 1.2 оптико-электронного прибора: 6.1 и 6.2 соответственно (визирные линии);
7. электромеханический блок поворота алидады прибора на  $180^\circ$ ;
8. трегер;
9. подъемные винты.



**Рис.1. Схематическое размещение оптико-электронных каналов астроприбора**

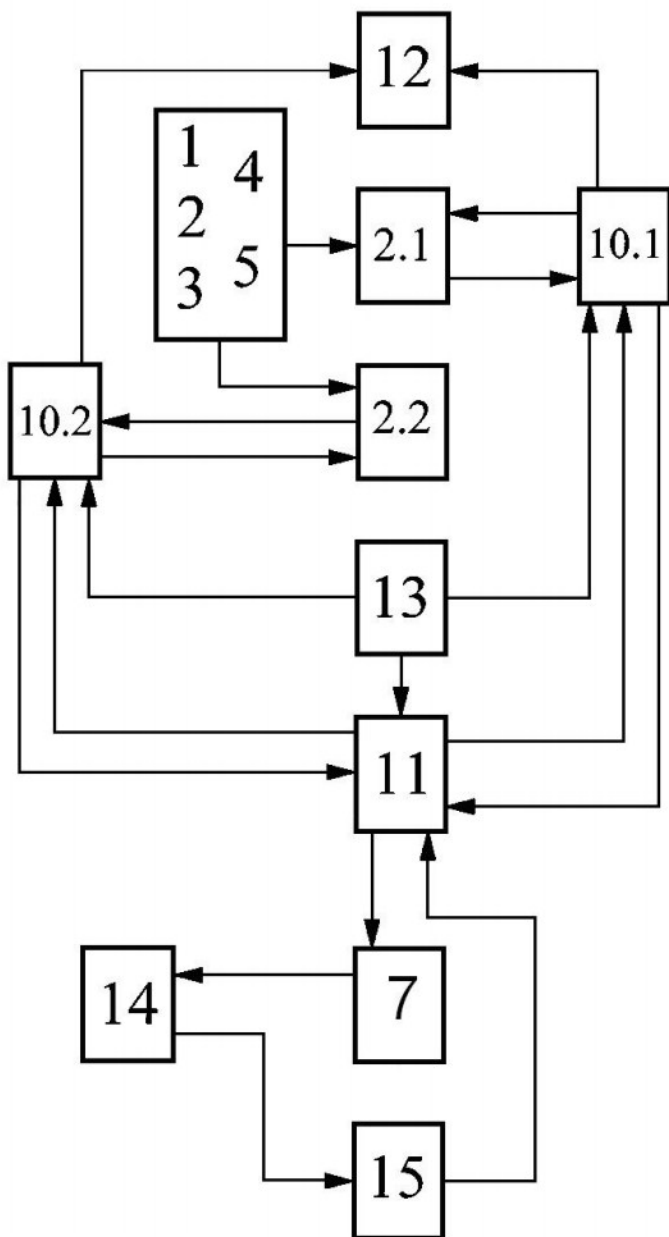
## ГЕОДЕЗИЯ, МАРКШЕЙДЕРИЯ, ГИС

Все блоки размещены в едином корпусе. Оптико-электронные каналы прибора жестко соединены между собой, их визирные оси размещены в горизонтальной плоскости перпендикулярно друг к другу.

Корпус прибора со всеми блоками установлен своей вертикальной осью на трегере, который в свою очередь размещен и стабильно закреплен на постоянно закрепленном штативе или на астрономическом столбе.

В состав прибора также входит визирное устройство для ориентирования прибора на местности, установочные уровни, электронный блок фиксации момента положения рабочей звезды в зените (БФЗ), приемник GPS и блок электропитания.

Блок-схема функционирования прибора показана на рис.2.



**Рис. 2. Блок-схема устройства для определения уклонений отвесных линий**

Обозначения на схеме:

- 1...5 – блоки показаны на рис. 1; 7 – электромеханический блок поворота алидады прибора на 180°; 10.1 и 10.2 – блоки обработки информации каналов долготы и широты; 11 – блок управления; 12 – блок индикации; 13 – программный блок; 14 – алидада; 15 – датчик фиксации угла поворота алидады на 180°.

**Методика измерений.** При подготовке к измерениям находят и устраивают на местности астропункт наблюдений по координатам, которые определяются с помощью GPS/ГЛОНАСС (или другим способом), рассчитывают и вводят в память прибора (в блок 13):

- ожидаемый момент прохождения рабочей звезды через зенит  $t_3$ ;

- угол опережения точки прохождения звезды через зенит  $\Delta\lambda$  (начало 1-го приема измерений) и время опережения  $\tau_{\Delta\lambda}$ ;

- геодезические координаты – широту и долготу.

Измерения выполняют в следующем порядке:

1. Установка прибора; горизонтирование и опробование на функционирование.

2. Установка осей каналов прибора по меридиану (канал широты) и первому вертикалу (канал долготы) с допустимой точностью  $\pm \Delta A$ .

3. Режим ожидания рабочей звезды в поле зрения до момента  $t_3 - \tau_{\Delta\lambda}$ .

Визирные линии канала широты и долготы устанавливаются вблизи зенита с отклонениями от него на малый угол в плоскости первого вертикала в направлении навстречу движению звезды. Величина данного малого угла рассчитывается с учетом паузы в измерениях, необходимой для выполнения поворота прибора на 180° по азимуту и успокоения чувствительного элемента компенсатора после возмущающего действия от поворота прибора. При этом в канале широты оси фотоприемной матрицы сдвигают на малый угол вокруг горизонтальной оси в плоскости мишени матрицы.

4. В заданное время  $t_3 - \tau_{\Delta\lambda}$  (при появлении звезды в полях зрения каналов) блок 11 включает электронные блоки прибора (2.1, 2.2, 10.1, 10.2, 12, 13).

5. Измерения прохождения изображения рабочей звезды в каналах широты и долготы в первом приеме. При этом в блоке 10.1 канала долготы в автоматическом режиме фиксируют при перемещении изображения звезды по мишени канала фотоприемной матрицы моменты перехода изображения звезды через разделительные линии между пикселями матрицы, перпендикулярные направлению движения изображения звезды, данные измерений направляют в оперативную память блока 10.1, одновременно в блоке 10.2 определяют траекторию изображения звезды и принимают ее аппроксимированное значение по программе, задаваемой блоком 13. Сигнал об окончании измерений в полуприеме подается на блок 11 с блоков 10.1, 10.2.

6. По программе блока 13, контролируемой по времени высокоточным таймером блока 10.1, на блок 7 подается команда на поворот алидады 14 прибора на 180° по азимуту и блок 7 выполняет заданный поворот. Угол поворота 180° контролируется датчиком 15. Сигнал об окончании поворота с датчика 15 пода-



ется в блок 11. При этом визирные оси каналов устанавливаются вблизи зенита с отклонениями на как раз такой малый угол от зенита, что и в первом приеме, но в противоположном направлении от зенита соответственно в плоскости меридиана и первого вертикала.

7. За время между окончанием первого приема измерений и началом второго происходит успокоение чувствительного элемента компенсатора и его стабилизация относительно горизонта.

8. По программе блока 13 блок 11 подает команду в электронные блоки 2.1, 2.2, 10.1, 10.2, 12 на включение режима ожидания второго приема.

9. Изображение звезды появляется в полях зрения каналов широты и долготы, согласно заданной блоком 13 программе выполняются измерения в каналах широты и долготы аналогично измерением в первом приеме с обработкой данных в блоках 10.1 и 10.2.

В блок 11 из блоков 10.1 и 10.2 поступает сигнал об окончании второго приема измерений.

10. Вычисление координат. Блок 11 дает команду блокам 10.1 и 10.2 на определение координат по заданной программе.

В блоке 10.1 выполняется по данным канала долготы оценка средних значений в двух полуприемах положения прохождения изображением звезды линий раздела пикселей матрицы с применением субпиксельных измерений интервала между линиями и определяют среднее значение момента прохождения звезды через зенит (линию истинного меридиана вблизи зенита).

В блоке 10.1 для определения астрономической долготы находят среднее время меридиана наблюдателя для среднего момента наблюдений, специальным сигналом времени, определяют гринвичское среднее время для упомянутого момента наблюдений и по разности полученного местного и гринвичского времени для среднего момента наблюдений получают долготу точки наблюдений в часовой мере углов и перевычисляют ее в угловой мере.

В блоке 10.1 сравнивают полученную астрономическую долготу  $\lambda$  с геодезической долготой астропункта  $L$  (из блока 13) и по формуле (2) вычисляют составляющую  $\eta''$  УОЛ.

Одновременно в блоке 10.2 по данным канала широты определяют расстояние между двумя измеренными траекториями изображения звезды на мишени матрицы, рассчитывают по средней траектории значение астрономической широты  $\varphi$  пункта по программе, задаваемой блоком 13, с учетом геодезической широты  $B$ , по формуле (2) вычисляют составляющую отвесной линии  $\xi$  для данного пункта. Полученные результаты передают из блоков 10.1 и 10.2 в блок индикации 12 и записывают на носитель.

**Точность астроизмерений.** Вышеописанная технология позволяет выполнять в двух полуприемах две группы экспозиций рабочей звезды, что исключает систематические погрешности и дает повышение точности измерений [10].

Выполнение прибора двухканальным – для измерения составляющих УОЛ по широте  $\varphi(\xi)$  и по долготе  $\lambda(\eta)$  – дает возможность использовать в оптико-электронных каналах высокоточные оптические компенсаторы, широко применяемые в серийных отечественных и зарубежных нивелирах, и на практике показавшие высокую точность компенсации негоризонтальности оптической оси (не хуже  $\pm 0,3''$ ). Это позволяет сделать астроприбор в целом высокоточным. Отметим, что такие систематические погрешности, как неточность изготовления призм, недокомпенсация горизонтального положения оптической оси системы «объектив-ПЗС-матрица» и влияние температурных деформаций узлов и деталей прибора и другие – исключаются при двух полуприемах измерений с поворотом прибора вокруг вертикальной оси на  $180^\circ$  и с определением среднего результата измерений.

Точность фоторегистрации изображений рабочей звезды на мишени ПЗС-матрицы может быть достигнута не хуже  $\pm 0,1''$  за счет применения субпиксельных технологий оценки положения проекции траектории звезды на мишени матрицы. Так, например, в широтном канале эффективными являются измерения при малом угловом расхождении проекции траектории звезды с линией раздела строк (столбцов) пикселей ПЗС-матрицы ( $\sim 0,5^\circ$ ).

В долготном канале экспозиции с заданной частотой в двух полуприемах позволяют получить средний результат «места зенита» также с достаточной точностью (не хуже  $\pm 0,1''$ ). Использование схемы синхронизации отсчетов времени спутниковых систем в таймере блока 10.1 обеспечивает высокую точность определения долготы. Выполненная предварительная оценка общей точности определения УОЛ показывает возможность получения точности не хуже  $\pm 0,4''$ .

Точность определения геодезических координат, например, посредством приемников ГЛОНАСС или GPS в данном случае достаточна до  $\pm 1\text{м}$  ( $\sim \pm 0,03''$ ).

Применение высокоточного автоматического астроприбора дает возможность существенно сократить трудоемкость астрономических работ и за счет этого обеспечить построение плотных сетей астропунктов, уменьшив расстояние между ними до 0,5-1,0 км.

При обработке данных астронивелирного хода для небольших расстояний ( $\sim 1\text{ км}$ ) между астропунктами можно, пренебрегая погрешностями второго и выше порядков, аппроксимировать профиль гравитационной поверхности отрезками окружности большого радиуса, перпендикулярными к нормальям (к эллипсоиду) в точках их пересечения на астропунктах.

Изменение геодезической высоты гравитационной поверхности, например, уровенной поверхности с потенциалом  $W_A = c$ , в плоскости первого вертикала от исходного астропункта  $A$  к определяемому пункту  $B$ , можно рассчитать по формуле:

$$\Delta H_{AB} = Stg \frac{\Theta}{2}, \quad (3)$$

## ГЕОДЕЗИЯ, МАРКШЕЙДЕРИЯ, ГИС

где  $\Theta = \eta_B - \eta_A + \psi$ ;  $\eta_B - \eta_A$  – разность составляющих УОЛ для п.п. А и В;  $S$  – расстояние между п.п. А и В;  $\psi$  – угловое расхождение нормалей к эллипсоиду в п.п. А и В.

Высота гравитационной поверхности, проходящей через п. А на отметке  $H_A$  в п.В, будет находиться на отметке  $H_A + \Delta H_{AB}$ . Т.к. в данном случае  $H_A$  задает высоту сферопа, то  $\Delta H_{AB}$  есть отклонение высоты гравитационной поверхности от сферопа. При наличии разности широт между п.п. А и В необходимо в значение  $\Theta$  в формуле (3) вводить поправку за изменение высоты сферопа относительно уровня эллипсоида (Нормальной Земли) в зависимости от разности широт пунктов А и В, а также соответствующие составляющие уклонений отвесных линий в вертикальной плоскости между астропунктами.

Таким образом, при последовательном определении превышений по астронивелирному ходу и их уравнивании для каждого астропункта можно получить достаточно точное значение высоты гравитационной поверхности с геопотенциалом исходного пункта, что, учитывая плановые координаты пунктов сети астронивелирования, позволяет построить в пространстве относительно эллипсоида точную гравитационную поверхность и гравиметрические карты для локальной территории.

Как и обычные нивелирные ходы, ходы АН могут быть замкнутыми и разомкнутыми, опирающимися на 2 и более опорных пунктов с известными значениями геодезической высоты, ускорения силы тяжести и ук-

лонения отвесной линии. На каждом рабочем астропункте по измеренным данным определяют значение УОЛ в вертикальной плоскости, проходящей через линию, соединяющую соседние астропункты, учитывая разность высот пунктов, азимут упомянутой линии и угловое расхождение нормалей к эллипсоиду на пунктах.

Очевидно, что ходы АН можно строить по самым различным траекториям, при этом, учитывая, что главной характеристикой поверхности гравитационного поля для решения геофизических задач является форма (рельеф) гравитационной поверхности, можно практически исключить из комплекса работ геометрическое нивелирование и основной объем гравиметрических работ. При этом можно дополнительно сократить объем полевых работ за счет гибкой последовательности проведения изысканий и исследований:

- планирование очередности создания астропунктов с учетом данных о месторождении, полученных другими методами (дистанционное зондирование Земли, наземные спектральные исследования, другие геологические и геофизические методы);
- наращивание плотности астропунктов в зависимости от получаемой в процессе создания сети астропунктов формы гравитационной поверхности;
- дополнительное сгущение астропунктов на участках, где необходимо повышение точности измерений.

В табл.2 приведены сравнительные характеристики методов нивелирования АГН и варианта АН для локальной территории.

Таблица 2

### Сравнительные характеристики методов нивелирования АГН и АН

	Астрономо-гравиметрическое нивелирование	Астрономическое нивелирование
Точность определения УОЛ	$\pm 0,3''$ на опорных астропунктах (интервал $\sim 70-100$ км)	$\pm 0,4''$ на рабочих астропунктах (интервал $\sim 1$ км)
Точность определения высоты	на опорном пункте 20-30 мкГал (абсолютное значение без учета ухудшения точности из-за применения интерполяции при вычислении результатов)	на рабочем пункте $\pm 25$ мкГал на 100 км хода АН (определение формы гравитационной поверхности)
Достоинства	- получение абсолютных значений нормальных высот; - решение задачи геодезической съемки поверхности квазигеоида на больших территориях	- получение значений относительных высот гравитационной поверхности на локальной территории; - более детальное исследование формы поверхности квазигеоида; - исключение трудоемкого высокоточного геодезического нивелирования; - исключение значительной части гравиметрических измерений; - возможность полной автоматизации астроизмерений; - автономное определение рабочих астропунктов
Недостатки	- сглаживание результатов измерений квазигеоида вследствие применения интерполяции, что приводит к ухудшению точности; - применение весьма трудоемкого высокоточного геометрического нивелирования; - применение большого объема гравиметрических измерений	большая, чем в АГН, зависимость выполнения работ от погодных условий и положения видимых рабочих звезд

В табл.2 показана возможность и целесообразность применения метода АН для поиска и обследования залежей углеводородов. Отметим, что точность исследования формы гравитационной поверхности здесь не уступает точности метода АГН. Особым преимуществом метода АН в данном случае является существенное сокращение трудоемкости исследований. Также метод АН, освобожденный от создания высокоточных гравиметрических и высокоточных нивелирных сетей, может быть весьма эффективным при исследовании в труднодоступной и сложной местности.

### Выводы

1. Сравнительный анализ методов астрономо-гравиметрического и астрономического нивелирования в аспекте изучения формы гравитационной поверхности для решения задач геологии и геофизики показал целесообразность применения метода астрономического нивелирования при его современной приборной реализации, обеспечивающей полную автоматизацию астроизмерений и компактность полевой аппаратуры.

2. Предложенный вариант методики определения уклонов отвесных линий позволяет определить форму гравитационной поверхности без использования геометрического нивелирования и основного объема гравиметрических работ, что ведет к существенному сокращению трудоемкости измерений.

3. Достоинством предложенного варианта также является автономность измерений на рабочих нивелирных астропунктах, что делает его особенно эффективным в труднодоступных районах местности, при поиске и обследовании месторождений углеводородов.

### Литература

1. Бровар Б.В. и др. Гравиметрия и геодезия. М.: Научный мир, 2010. – 572 с.
2. Закатов П.С. Курс высшей геодезии / П.С. Закатов. 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Недра, 1976. – 511 с. С. 279-290.
3. Дзуліт П.Д. Гравіметрія. Підручник. Львів, ЛАГТ, 1998. - 196 с.
4. Дзуліт П.Д., Смелянець О.В. Завдання модернізації гравіметричної мережі України. Вісник геодезії та картографії, №6, 2013, с.6-10.
5. Боровий В.О. Можливості нафтогазорозвідки геодезичними методами / В.О. Боровий, В.Г. Бурачек, О.М. Пацкін// Сучасні досягнення геодезії, геодиніміки та геодезичного виробництва: зб. наук. пр. –Львів, 1999. с. 62-65.
6. Боровий В.О. Зенітна фотокамера для визначення нахилу прямовисних ліній / В.О.Боровий, В.Г.Бурачек, Р.Х. Греку // Інженерна геодезія – 1991. – Вип. 34. – С. 8-12.
7. Боровой В.А. Основные погрешности высокоточных зенитных камер при определении астрономических координат /В.А.Боровой, В.Г.Бурачек, О.М. Пацкин // Інженерна геодезія - 1998. - Вип. 40. - С.29-33.
8. Патент України на винахід «Спосіб визначення відхилень прямовисних ліній» № 104178 від 10.01.2014, бюл. №1. Власник Чернігівський державний інститут економіки та управління. Винахідники: Бурачек В.Г., Железняк О.О., Іванишин В.А., Коберник І.М.
9. Патент України на винахід «Пристрій визначення відхилень прямовисних ліній» № 104179 від 10.01.2014, бюл. №1. Власник Чернігівський державний інститут економіки та управління. Винахідники: Бурачек В.Г., Железняк О.О., Іванишин В.А., Коберник І.М.
10. Бурачек В.Г., Железняк О.О., Коберник І.М. Автоматизований пристрій визначення астрономічних координат. Вісник астрономічної школи, 2012. Т.8 №1-2. С. 62-65.

Всеволод Германович Бурачек, д-р техн. наук, профессор,  
проректор по научной работе Университета новейших  
технологий, г.Киев, тел.+380672390983,  
E-mail: vbur2008@ukr.net, сайт университета <http://unt.kiev.ua>

### Уважаемые коллеги!

Горный институт НИТУ «МИСИС», Институт проблем комплексного освоения недр РАН, Научный совет РАН по проблемам горных наук приглашают Вас принять участие в работе XXIV Международного научного симпозиума «Неделя горняка-2016», который пройдет 25 – 29 января 2016 в г. Москва, Горный институт НИТУ «МИСиС».

Научные направления симпозиума:

- ✓ Горнопромышленная и нефтегазопромысловая геология, геофизика, маркшейдерское дело и геометрия недр.
- ✓ Геомеханика. Разрушение горных пород. Рудничная азрогазодинамика. Горная теплофизика.
- ✓ Геотехнология (подземная, открытая и строительная)
- ✓ Горные машины. Электротехнические системы и комплексы
- ✓ Обогащение полезных ископаемых
- ✓ Геоинформатика
- ✓ Геоэкология
- ✓ Экономика и менеджмент горного производства.
- ✓ Горнопромышленная металлургия.

Оргкомитет «Недели горняка-2016»: телефон: 8(499) 230-2751, Королева Валентина Николаевна,  
E-mail: koroleva@msmu.ru, WEB-сайт: [www.misis.ru](http://www.misis.ru).

**Редакция «МВ»**

УДК 528.482

Ю.Н.Гавриленко, С.С.Маликов

## АНАЛИЗ ИЗМЕРЯЕМЫХ ВЕЛИЧИН ПРИ МАРКШЕЙДЕРСКО-ГЕОДЕЗИЧЕСКОМ МОНИТОРИНГЕ СОВРЕМЕННЫХ ДВИЖЕНИЙ ЗЕМНОЙ КОРЫ И ДЕФОРМАЦИЙ КРУПНЫХ ИНЖЕНЕРНЫХ СООРУЖЕНИЙ

Предложен способ предварительного анализа результатов мониторинговых измерений, сущность которого состоит в построении временного ряда измеряемой величины и проверке нулевой статистической гипотезы углового коэффициента уравнения регрессии. Приводится математический аппарат рассматриваемого способа и контроля качества прогнозирования изменения величин по невязкам замкнутых построений.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** маркшейдерско-геодезический мониторинг; временные ряды измеренных величин; уравнения регрессии; статистические гипотезы; критерий Стьюдента; прогноз скоростей изменения измеренных величин.

Yu.N.Gavrilenko, S.S.Malikov

## THE ANALYSIS OF THE MEASURED SIZES AT SURVEYING AND GEODETIC MONITORING OF MODERN EARTH MOVEMENTS AND DEFORMATIONS OF LARGE ENGINEERING CONSTRUCTIONS

The way of the preliminary analysis of results of monitoring measurements is offered. It consists in creation of a temporary number of the measured size and check of a zero statistical hypothesis of slope of the equation of regression. The mathematical apparatus of the considered method and quality control of forecasting of change of sizes of the reserved constructions is given.

**KEY WORDS:** surveying and geodetic monitoring; temporary ranks of the measured sizes; regression equations; statistical hypotheses; Student's criterion; the forecast of speeds of change of the measured sizes.



Ю.Н.Гавриленко С.С.Маликов

При выполнении периодических мониторинговых геодезических измерений, когда значения измеряемых величин колеблются в не-

большом диапазоне, соизмеримом с погрешностями самих измерений, при обобщении и интерпретации результатов на первом этапе необходимо провести анализ не горизонтальных и вертикальных смещений, а анализ изменения непосредственно измеренных величин.

При длительном периоде наблюдений (более 5-6 циклов) предлагается следующая процедура анализа измеряемых величин с учетом их изменения во времени. При этом целесообразно анализировать одномерные величины, а именно

- превышения между соседними пунктами и реперами, показывающие изменение наклона поверхности на соответствующих участках;
- длины сторон плановых сетей, которые характеризуют относительные линейные деформации растяжений-сжатий;
- раскрытие-закрытие деформационных швов и трещин.

Полученные при наблюдениях измеренные величины представляются в графическом и табличном видах. При построении графиков по оси абсцисс откладывают время  $\tau$  в удобных единицах измерения, например в сутках. По оси ординат откладывают анализируемую величину, которую в общем случае обозначим через  $\varepsilon$ .

При этом возможны три случая (рис.1).

1) Существует четко выраженная тенденция изменения измеряемой величины во времени (рис.1, а). Такая картина свидетельствует о закономерном (однонаправленном) изменении анализируемой величины. Отклонения от аппроксимирующей кривой являются следствием неравномерности развития процесса деформирования и неизбежных ошибок измерений.

2) Нет оснований считать, что измеряемая величина закономерно изменяется во времени и ее колебания находятся в пределах доверительного интервала, построенного на основании средней квадратической погрешности измерения анализируемой величины (рис.1, б). Это позволяет сделать заключение, что измеряемая величина стабильна и два пункта, между которыми она измерена, либо стабильны, либо смещаются синхронно.

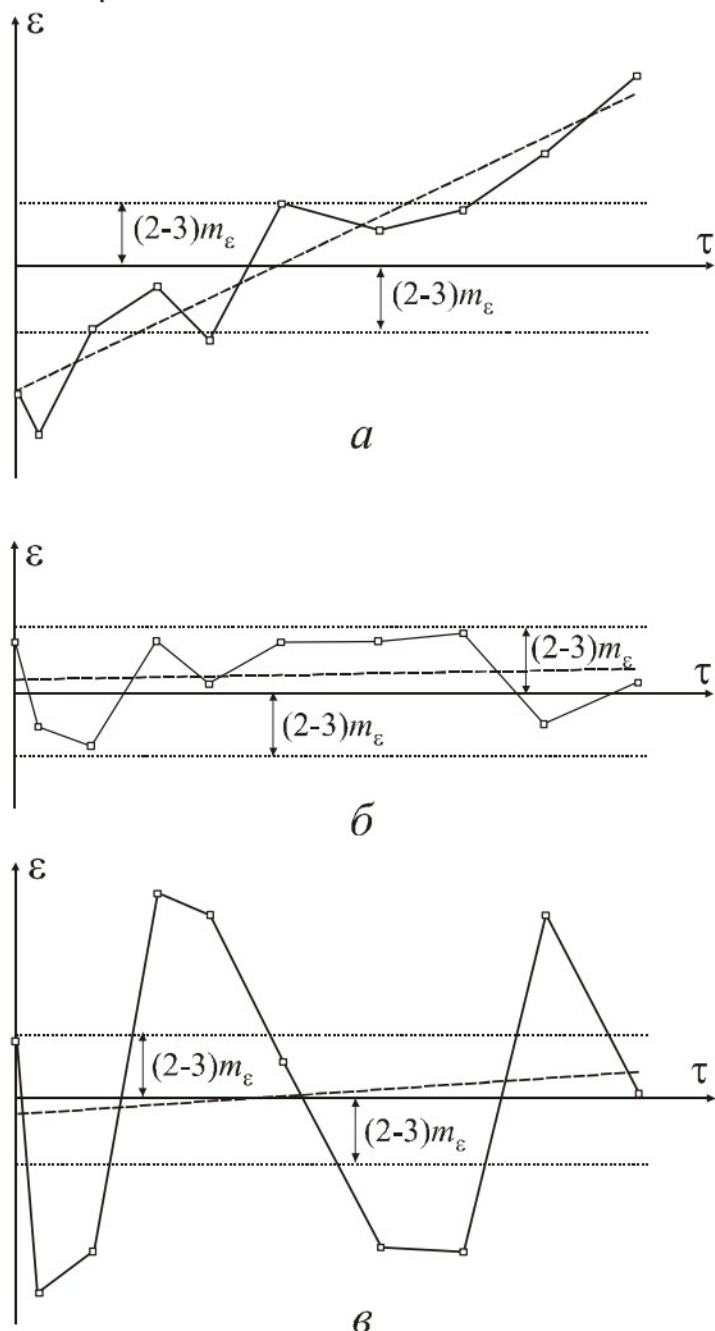
3) Как и в предыдущем случае не подтверждается гипотеза о закономерном изменении величины с течением времени, но ее значения существенно выходят за границы доверительного интервала. Такое распределение возможно при знакопеременном деформировании отдельных частей исследуемого объекта, например, поочередное смещение соседних тектонических блоков земной коры или отдельных частей инженерного сооружения. Такая картина также возможна при нарушении устойчивости пунктов, между которыми измеряется анализируемая величина.

Для отнесения характера изменения анализируемой величины к тому или иному случаю распределения необходимо решение следующих задач:

- 1) Установление средней квадратической погрешности измерения анализируемой величины.
- 2) Аппроксимация наблюдаемого ряда значений математической функцией, а именно: установление вида и параметров уравнения регрессии.
- 3) Вычисление статистических оценок и проверка гипотезы о том, что коэффициенты уравнения регрессии



рессии значимо отличаются от 0, т.е. что имеется устойчивое изменение анализируемой величины с течением времени.



**Рис.1. Три возможных варианта изменения измеряемой величины в процессе мониторинга**

Оценку точности (определение средней квадратической ошибки) измеряемых величин осуществляют по разностям двойных измерений на основании материалов начальных циклов наблюдений, по невязкам замкнутых нивелирных ходов или из целенаправленных специальных исследований.

Учитывая, что современные движения земной коры и деформации крупных инженерных сооружений, как правило, невелики, то для аппроксимации данных измерений достаточно использовать линейную модель регрессии. Она выражается известной формулой

$$\hat{\varepsilon} = b_0 + b_1\tau, \quad (1)$$

где  $\hat{\varepsilon}$  – аппроксимированное значение измеряемой величины, вычисленное по уравнению регрессии;  $b_0, b_1$  – коэффициенты линейной регрессии;  $\tau$  – те-

кущее время.

Нахождение параметров линии регрессии осуществляется по методу наименьших квадратов. Для этого можно использовать формулы, приведенные в работе [1], которые запишем с учетом обозначений, принятых в уравнении (1):

$$b_1 = \frac{n \sum \tau \varepsilon - \sum \tau \sum \varepsilon}{n \sum \tau^2 - (\sum \tau)^2}; \quad (2)$$

$$b_0 = \frac{\sum \varepsilon - b_1 \sum \tau}{n} \text{ или } b_0 = \frac{\sum \varepsilon \sum \tau^2 - \sum \tau \sum \tau \varepsilon}{n \sum \tau^2 - (\sum \tau)^2}, \quad (3)$$

где  $\varepsilon$  – измеренное значение анализируемой величины;  $n$  – число циклов наблюдений.

Для нашей задачи неважно значение  $b_0$ , которое будет зависеть от того, каким образом представляется измеренная величина, например, отклонениями от среднего значения, отклонениями относительно любого значения, принятого за начало отсчета, полным значением измеряемой величины и т.д. Угловой коэффициент линии регрессии  $b_1$  представляет собой скорость изменения анализируемой величины. Поэтому основной задачей является проверка: отличается ли статистически значимо оценка коэффициента регрессии  $b_1$  от 0. Другими словами, необходимо осуществить проверку нулевой гипотезы  $H_0 : b_1 = 0$  [1].

Граница значимости устанавливается на основании распределения Стьюдента. Фактическое значение  $t$ -критерия вычисляется по формуле:

$$\hat{t} = \frac{|b_1|}{S_{b_1}}. \quad (4)$$

Оно сравнивается с табличным (критическим) значением  $t_{n-2, a}$ , определяемым по распределению Стьюдента. Табличное значение определяется в зависимости от уровня значимости  $a$  и числа степеней свободы, которое в случае линейной регрессии равно  $(n-2)$ .

Если фактическое значение  $t$ -критерия больше табличного или равно ему  $\hat{t} \geq t_{n-2, a}$ , то основную гипотезу отвергают и считают, что с вероятностью  $(1-a)$  параметр  $b_1$  значимо отличается от нуля. Если фактическое значение  $t$ -критерия меньше табличного, то нет оснований отвергать основную гипотезу, т.е. параметр  $b_1$  незначимо отличается от нуля при уровне значимости  $a$ .

В формуле (4) величина  $S_{b_1}$  представляет собой стандартную ошибку коэффициента  $b_1$  и вычисляется по формуле:

$$S_{b_1} = \frac{S_\varepsilon}{\sqrt{\sum (\tau - \bar{\tau})^2}} = \frac{S_\varepsilon}{\sqrt{\sum \tau^2 - (\sum \tau)^2/n}}, \quad (5)$$

где  $S_\varepsilon$  – стандартное отклонение измеренной величины относительно линии регрессии, которое показы-



## ГЕОДЕЗИЯ, МАРКШЕЙДЕРИЯ, ГИС

ваит рассеяние исходных данных относительно полученной прямой и вычисляется по формуле:

$$S_b = \sqrt{\frac{\sum (\varepsilon - \hat{\varepsilon})^2}{n-2}} = \sqrt{\frac{\sum (\varepsilon - b_0 - b_1\tau)^2}{n-2}}; \quad (6)$$

$\bar{\tau}$  – среднее значение времени наблюдений;  $\hat{\varepsilon}$  – вычисленное значение измеряемой величины по уравнению регрессии для соответствующего момента времени  $\tau$ .

Учитывая, что угловой коэффициент  $b_1$  представляет собой скорость изменения анализируемой величины, то можно вычислить или спрогнозировать значение изменения величины за любой временной период  $\Delta\tau$ , например за месяц, за год, за несколько лет:

$$\Delta\varepsilon_{\Delta\tau} = b_1\Delta\tau. \quad (7)$$

При анализе превышений, образующих замкнутый полигон, должно выполняться условие равенства 0 суммы всех изменений  $\Delta h_{\Delta\tau}$ , т.е.:

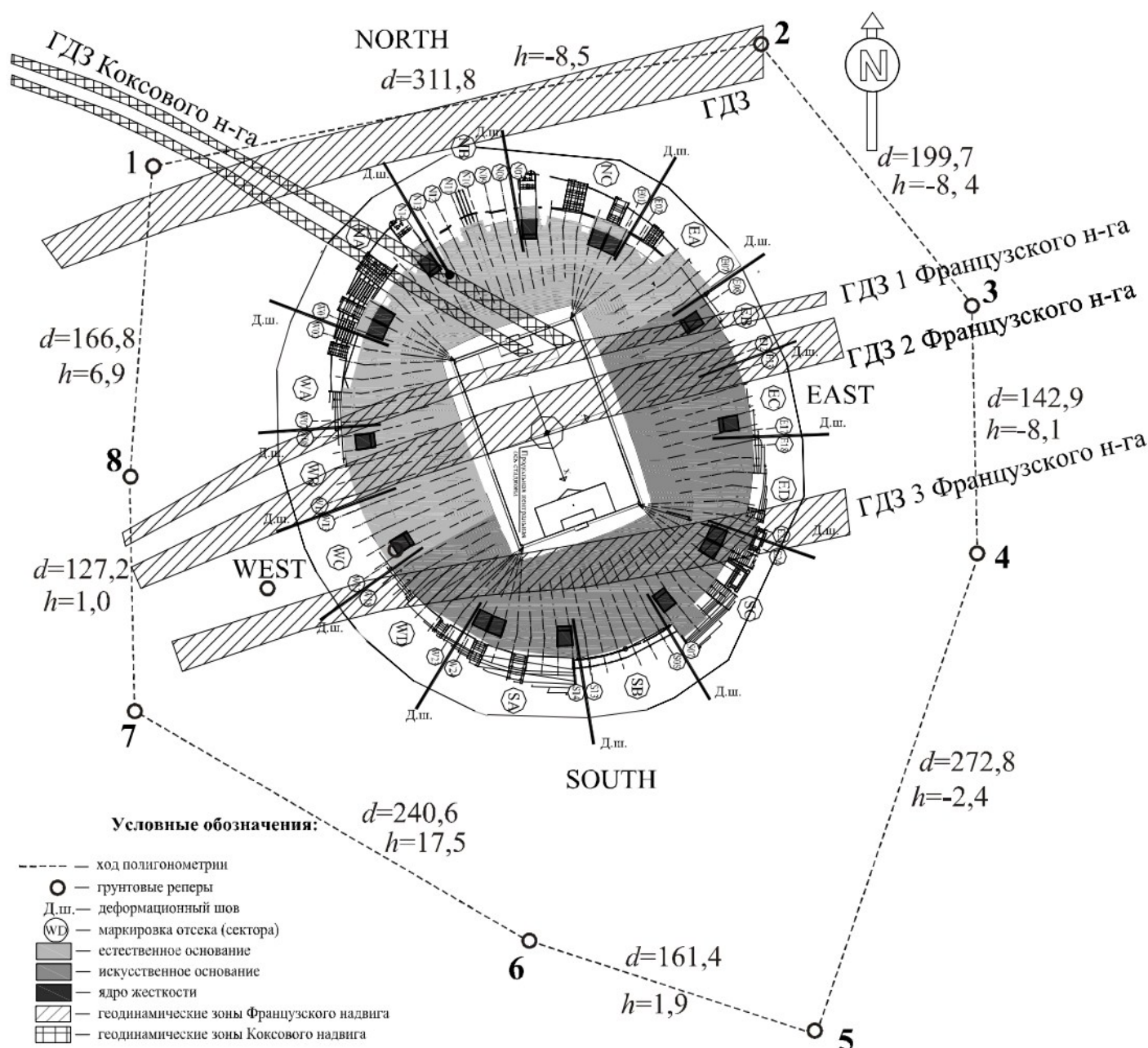
$$\sum \Delta h_{\Delta\tau} = 0. \quad (8)$$

При анализе длин сторон в замкнутом ходе полигонометрии должна быть равна нулю сумма проекций изменений длин  $\Delta d_{\Delta\tau}$  на координатные оси, т.е.:

$$\sum \Delta d_{\Delta\tau} \cos \alpha = 0 \quad \text{и} \quad \sum \Delta d_{\Delta\tau} \sin \alpha = 0. \quad (9)$$

Получаемые при этом невязки зависят от погрешностей непосредственных измерений, неравномерности процессов деформирования, а также от надежности определения параметров уравнения регрессии.

Рассмотрим применение вышеизложенной методики на примере анализа измеряемых величин во внешней наблюдательной сети, которая является основой геодезического мониторинга стадиона «Донбасс Арена» в г.Донецке (рис.2) [2]. Эта сеть включает 8 грунтовых реперов, которые расположены по периметру чаши стадиона.



**Рис.2. Схема внешней геодезической наблюдательной сети стадиона «Донбасс Арена»**

Площадка стадиона расположена в сложных горно-геологических условиях. Основным осложняющим фактором является наличие выхода под наносы мощного тектонического нарушения – Французского надвига. Надвиг имеет юго-западное простирание, нормальную амплитуду смещения около 500 м, угол падения нарушенной зоны порядка  $40^\circ$ . Нарушение представляет собой мощную тектоническую зону [3]. На основе изучения материалов, полученных при пересечении данного нарушения горными выработками шахты им.Горького (примерно на удалении около 2,5-3,0 км от стадиона) можно констатировать, что горизонтальная мощность зоны нарушенных пород составляет 440-470 м. Отдельные мелкие нарушения перемежаются участками с ненарушенным залеганием пород. В периферийных частях зоны нарушения представлены разобщенными единичными сместителями, располагающимися на расстоянии до 50 м друг от друга. В центральной части имеются небольшие по мощности зоны дробления, а расстояния между ними сокращаются до 20 м. Породы между отдельными нарушениями сильно дислоцированы. С помощью геофизических методов исследований, выполненных до строительства стадиона, были выделены 3 геодинамические зоны Французского надвига, 2 зоны Коксового надвига и одна зона, параллельная зонам Французского надвига (рис.2).

Для определения плановых смещений по грунтовым реперам внешней сети прокладывается ход полигонометрии, в котором измерения производятся электронным тахеометром Topcon GPT-3005N. Периметр полигона составляет около 1,6 км.

Вертикальные перемещения определяются на основе периодических нивелировок, которые выполняются по методике нивелирования IV класса. Ориентировочные длины сторон  $d$  и превышения  $h$  между реперами приведены на рис.2. В сети за период с октября 2010 г. по апрель 2014 г. было проведено 11 циклов наблюдений.

Рассмотрим результаты анализа длин сторон полигонометрии и превышений, выполненные по рассмотренной выше методике.

На рис.3 приведены графики изменения длин сторон полигонометрии, представленные в виде отклонений от среднего значения. По результатам наблюдений первых трех циклов, проведенных с интервалом в один месяц, установлено, что средняя квадратическая погрешность измерения длин линий в полигонометрии составляет  $\pm 1,8$  мм.

Предварительный анализ графиков показывает (рис.3), что практически все стороны сети испытывают растяжение, т.е. увеличение длины. Детальный анализ (табл.1) свидетельствует о том, с вероятностью 95% только в четырех длинах (1-2, 5-6, 6-7, 7-8) подтверждается устойчивое изменение расстояний с течением времени.

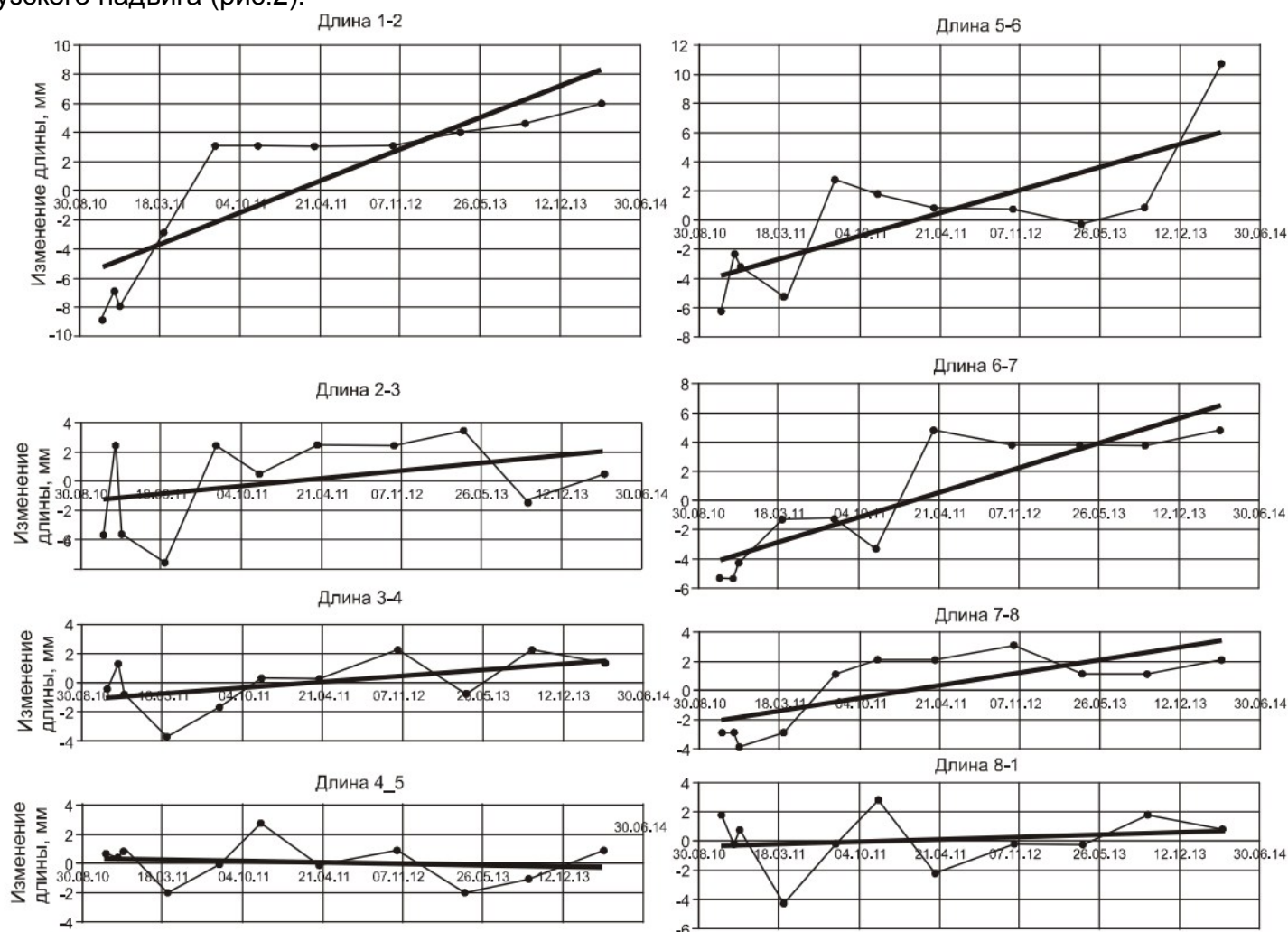


Рис.3. Графики изменения длин линий полигонометрии во внешней геодезической сети стадиона «Донбасс Арена»



# ГЕОДЕЗИЯ, МАРКШЕЙДЕРИЯ, ГИС

Показательной является длина 7–8, в которой, несмотря на то, что стандартные отклонения практически равны средней квадратической погрешности измерения расстояний, с достаточной уверенностью можно утверждать об увеличении длины примерно на 1,6 мм/год.

Три остальные длины (1-2, 5-6, 6-7) имеют стандартные отклонения от среднего значения в 2–3 раза выше, чем средняя квадратическая погрешность непосредственных измерений. Среднегодовые увеличения этих расстояний составляют 3–4 мм/год. Эти длины располагаются примерно по простиранию зоны Французского надвига, что свидетельствует о закономерном

растяжении земной поверхности вдоль тектонической зоны надвига.

Графики изменения превышений между грунтовыми реперами представлены на рис.4, а результаты детального анализа - в табл.2. Средняя квадратическая погрешность определения отдельных превышений, установленная по начальным циклам наблюдений, составила  $\pm 0,9$  мм. Косвенным подтверждением этого значения является стандартное отклонение, определенное за весь период измерений для наиболее стабильного превышения 7-8 и составившее  $\pm 1,0$  мм.

Таблица 1

Анализ изменения длин сторон полигонометрии

Параметр	Интервалы							
	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8	8-1
Стандартное отклонение от среднего значения	5,6	3,1	1,8	1,5	4,6	4,2	2,6	2,0
Стандартное отклонение относительно уравнения регрессии	3,1	3,0	1,6	1,5	3,2	2,1	1,8	2,0
Угловой коэффициент линии регрессии $b_1$ , мм/сут	0,0108	0,0027	0,0021	-0,0006	0,0079	0,0084	0,0044	0,0007
Стандартная ошибка коэффициента $b_1 - S_{b_1}$	0,0022	0,0022	0,0012	0,0011	0,0023	0,0015	0,0013	0,0015
Фактическое значение $t$ -критерия*	<b>4,8455</b>	1,2241	1,8044	0,5122	<b>3,4523</b>	<b>5,6796</b>	<b>3,3833</b>	0,5070
Изменение длины за месяц, мм	0,32	0,08	0,06	-0,02	0,24	0,25	0,13	0,02
Изменение длины за год, мм	3,9	1,0	0,8	-0,2	2,9	3,1	1,6	0,3
Изменение длины за 4 года, мм	15,8	3,9	3,1	-0,9	11,5	12,3	6,4	1,0

\* Жирным шрифтом выделены значения  $t$ -критерия, превышающие критическое значение, которое при числе степеней свободы  $11-2=9$  и уровне значимости 0,05 равно 2,262

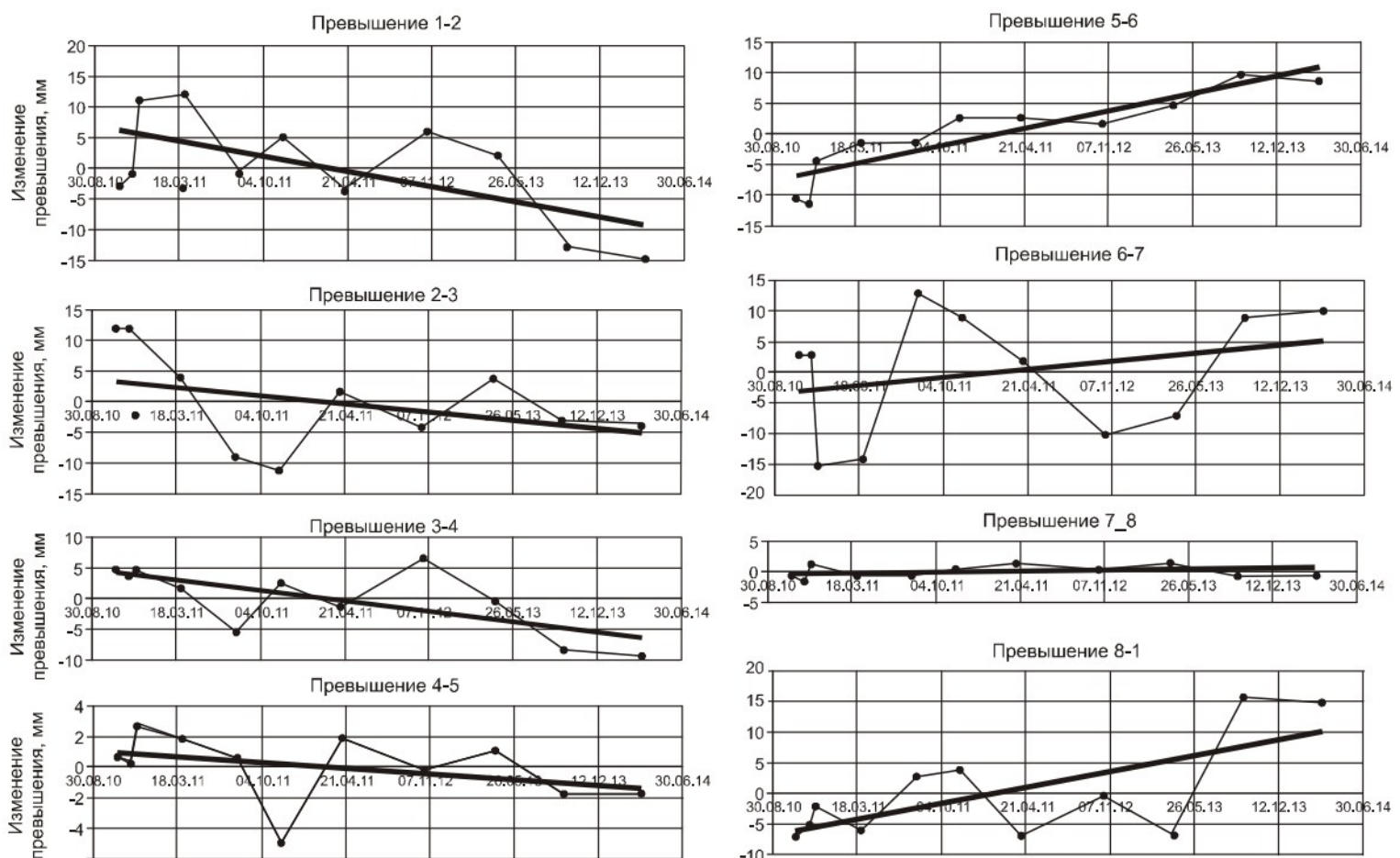


Рис.4. Графики изменения превышений между грунтовыми реперами во внешней геодезической сети стадиона «Донбасс Арена»



Анализ изменения превышений между грунтовыми реперами

Параметр	Интервалы							
	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8	8-1
Стандартное отклонение от среднего значения	8,7	7,6	5,5	5,4	6,8	10,1	1,0	8,5
Стандартное отклонение относительно линии регрессии	6,7	7,0	4,0	5,0	2,9	9,7	1,0	6,3
Угловой коэффициент линии регрессии $b_1$ , мм/сут	-0,0124	-0,0066	-0,0084	-0,0048	0,0140	0,0064	0,0003	0,0129
Стандартная ошибка коэффициента $b_1 - S_{b_1}$	0,0051	0,0053	0,0031	0,0038	0,0022	0,0074	0,0008	0,0048
Фактическое значение $t$ -критерия	<b>2,4242</b>	1,2574	<b>2,7336</b>	1,2758	<b>6,3607</b>	0,8759	0,4182	<b>2,7012</b>
Изменение превышения за месяц, мм	-0,37	-0,20	-0,25	-0,14	0,42	0,19	0,01	0,39
Изменение превышения за год, мм	-4,5	-2,4	-3,1	-1,8	5,1	2,3	0,1	4,7
Изменение превышения за 4 года, мм	-18,1	-9,6	-12,3	-7,0	20,4	9,3	0,4	18,8

\* Жирным шрифтом выделены значения  $t$ -критерия, превышающие критическое значение, которое при числе степеней свободы  $11-2=9$  и уровне значимости 0,05 равно 2,262

Гипотеза о равенстве нулю углового коэффициента линейной регрессии отвергается для четырех превышений, а именно 1-2, 3-4, 5-6, 8-1 (табл.2). Эти превышения изменяются закономерно со скоростями 3–5 мм/год.

Превышение 6-7 характеризуется значительным стандартным отклонением  $\pm 10$  мм, что, с одной стороны, свидетельствует о его изменении, а с другой стороны, гипотеза равенства 0 углового коэффициента линии регрессии не может быть отвергнута.

Невязка аппроксимированных значений превышений в замкнутом полигоне периметром около 1,6 км на основе месячных изменений составила 0,04 мм, а за год – 0,4 мм. Невязки в приращениях координат составили:

- при месячных изменениях длин сторон:

$f_{\Delta x} = 0,4$  мм;  $f_{\Delta y} = -0,1$  мм; относительная линейная невязка 1:4 400 000

- при годовых изменениях длин сторон:

$f_{\Delta x} = 4,3$  мм;  $f_{\Delta y} = -1,0$  мм; относительная линейная невязка 1: 365 000.

Это свидетельствует об эффективности предложенной методики анализа. При наличии прогнозных значений изменения превышений и длин сторон существует возможность прогнозирования значений измеряемых на любой временной интервал.

В целом на основании сравнения стандартных отклонений длин сторон и превышений можно констатировать, что колебания превышений (вертикальные деформации) в 2,0-2,5 раза больше, чем изменения длин (горизонтальные деформации). Таким образом, неравномерность оседаний земной поверхности в районе стадиона выше, нежели горизонтальные перемещения.

### Выводы

Разработанный способ анализа изменений измеряемых величин состоит в построении временного ряда измеряемой величины и проверке нулевой статистической гипотезы углового коэффициента уравнения регрессии. Анализ результатов позволяет выявить те величины, которые претерпевают существ-

венные изменения, и определить прогнозные скорости их изменений.

Применение способа при анализе превышений между соседними реперами, показывающего изменение наклона поверхности на соответствующих участках, и длин сторон плановых сетей, характеризующих относительные линейные деформации растяжений-сжатий, во внешней наблюдательной сети (основа геодезического мониторинга стадиона «Донбасс Арена» в г.Донецке), позволило установить характер указанных изменений, построить математическую модель зависимости изменений измеряемых величин как функции времени.

Проведенный анализ показал, что практически все длины сторон сети полигонометрии испытывают растяжение. Наибольшие значения растяжений зафиксированы у сторон, которые расположены примерно параллельно тектонической зоне Французского надвига.

Результаты анализа изменений измеряемых величин свидетельствуют об эффективности предложенной методики, которая дает возможность сделать вывод о наличии горизонтальных и вертикальных деформаций и спрогнозировать их значения за любой временной период, например, за месяц, за год, за несколько лет.

Сравнение величин горизонтальных и вертикальных деформаций, которые произошли за период с октября 2010 года по апрель 2014 года, позволяет считать, что неравномерность вертикальных деформаций земной поверхности в районе стадиона в 2,0-2,5 раза выше, нежели горизонтальные перемещения.

### Литература

1. Закс Л. Статистическое оценивание.-М.: Статистика, 1976. – 598 с.
2. Лобов М.И., Анненков А.А., Маликов С.С. Геодезический мониторинг спортивного комплекса «Донбасс-Арена» в процессе эксплуатации // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва. – 2012. Вип. 1(23)- С.154-158.
3. Гавриленко Ю.Н., Коваленко В.И. Влияние крупного тектонического нарушения на деформации земной поверхности // Разработка месторождений полезных ископаемых: Респ.межвед.науч.-техн.сб. – 1990. – Вып.85. – С.10-15.

Юрий Николаевич Гавриленко, проф., д-р.техн.наук, акад. Академии горных наук Украины, Донецкий национальный технич. университет;  
Сергей Станиславович Маликов, магистр, аспирант, Донбасская национальная академия строительства и архитектуры, E-mail: kmd@sptmi.ru

УДК 622.1:528.02

В.А.Киселев, Л.Р.Базыкина, Е.С.Базиляк

## ПРОБЛЕМЫ ОРГАНИЗАЦИИ МАРКШЕЙДЕРСКОЙ СЛУЖБЫ В УСЛОВИЯХ ТЕХНИЧЕСКОЙ МОДЕРНИЗАЦИИ

Рассмотрены вопросы организации маркшейдерской службы на горных предприятиях, представлены методики расчета численности штата маркшейдерских служб на примере рудников ОА «Апатит» и проанализированы результаты расчетов.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** маркшейдерское обеспечение; организация работ; методики расчета штатов; типовые структуры управления; горные работы; горнодобывающая промышленность.

V.A.Kiselev, L.R.Bazykina, E.S.Bazilyak

## PROBLEMS OF ORGANIZATION OF SURVEYING SERVICE IN CONDITIONS OF TECHNICAL MODERNIZATION

The organization of surveying in mining enterprises and presented the methodology for calculating the number of staff surveying is described. It also shows examples of calculations staff surveying departments of mines "Apatite" and analyzed the results.

**KEY WORDS:** surveying software; organization of work; method of calculating state; typical structure of management; mining operations; mining industry.



В.А.Киселев



Л.Р.Базыкина



Е.С.Базиляк

В связи с увеличением интенсивности горных работ маркшейдерские службы предприятий оказываются в ситуациях, когда необходимо осуществлять модернизацию как приборной базы, так и методик съемок. В последнее время благодаря появлению современного электронного маркшейдерско-геодезического оборудования в этой области были достигнуты определенные результаты. Однако указанные изменения не коснулись методической базы организации маркшейдерской службы в целом, поскольку существующие методики расчета штатов не предоставляют средств по их определению в изменившихся условиях. В частности, в настоящее время на горных предприятиях, при формировании ежегодных проектов маркшейдерских работ, используется ряд методик: «Инструкция по производству маркшейдерских работ» [1], «Проект производства маркшейдерских работ на рудниках ОАО «Апатит» [2], «Типовые структуры управления и типовые штаты ИТР и служащих горных подразделений» (1976 г.) [3], «Типовые структуры управления и типовые штаты ИТР и служащих подземных рудников (шахт) и карьеров» (1973 г.) [4]. Указанные методики основываются на статистических зависимостях численности маркшейдеров от горнотехнических показателей горных предприятий. Эти зависимости были получены в условиях

использования оптико-механических приборов и соответствующих им методик производства работ. Принципиально другой подход для определения численности маркшейдеров, опирающийся на расчеты норм времени и выработки, предложенный Н.И. Стениным [5], так же был рассчитан на примере использования оптико-механических приборов.

В сложившихся обстоятельствах проблема организации маркшейдерского обеспечения горных предприятий на новой научно-технической базе требует анализа существующих методик. Для решения поставленной задачи авторами был выполнен анализ методик расчета численности штата маркшейдерской службы (табл.1) на примере данных по рудникам ОА «Апатит» (табл.2).

Полученные результаты показывают, что значения количества сотрудников отличаются как между собой, так и от значений, принятых по штатному расписанию (на 2014 г.) (табл.3).

Приведенный выше анализ существующих методик демонстрирует их несовершенство (разброс получаемых значений, что обусловлено строгой привязкой расчетных формул к конкретному типу предприятий и невозможностью непосредственного учета изменений приборного парка и методик проведения маркшейдерских работ).

Исходя из выше изложенного, возникает необходимость в корректировке существующих методик или применения другого подхода. Одним из таких подходов может стать расчет численности штатов маркшейдерских служб на основе определения норм времени и выработки, которые следует определять по результатам хронометража рабочего времени при использовании современных электронно-оптических приборов и модернизированных методик маркшейдерских работ.

Методики расчета численности штата маркшейдерской службы

Наименование методики	Формула расчета	
	Для подземных горных работ	Для открытых горных работ
«Инструкция по производству маркшейдерских работ» [1]	$N=(0,22 \times L+0,02 \times l+0,26 \times n) \times K,$ <p>где L - плановый годовой объем проведения подготовительных выработок хозяйственным способом (без выработок, проходимых с применением буровых установок), км; l – среднегодовая протяженность подерживаемых выработок, км; n – среднедействующее число очистных забоев по плану</p>	
«Проект производства маркшейдерских работ на рудниках ОАО «Апатит» [2]	$N_{п.р.}=0,6 \times L_{п.р.}+0,1 \times V_{к.р.}+0,01 \times J+0,15 \times L_{р.}+0,003 \times L_{б.р.},$ <p>где <math>N_{п.р.}</math> – число участковых маркшейдеров подземного рудника, чел. <math>L_{п.р.}</math> – годовой объем проходки линейных горных выработок, км; <math>V_{к.р.}</math> – годовой объем проходки камерных выработок, тыс. м<sup>3</sup>; J – среднегодовая протяженность подерживаемых выработок, км; <math>L_{р.}</math> – годовой объем крепления горных выработок, км; <math>L_{б.р.}</math> – годовой объем бурения взрывных скважин, км</p>	$N_{к.р.}=(N_1+N_2+N_3) \times K_1 \times K_2,$ <p>где <math>N_{к.р.}</math> – число участковых маркшейдеров на карьере, чел.; <math>N_1</math> – число участковых маркшейдеров, необходимых для обеспечения горных работ, выполняемых экскаваторами; <math>N_2</math> – число участковых маркшейдеров, необходимых для обеспечения буровзрывных работ; <math>N_3</math> – число участковых маркшейдеров, необходимых для выполнения наблюдений за устойчивостью отвалов и бортов карьера и т.п.; <math>K_1</math> – коэффициент, вводимый за влияние глубины карьеров на трудоёмкость маркшейдерских работ (глубина карьера более 300 м, <math>K_1=1,1-1,2</math>); <math>K_2</math> – коэффициент, вводимый за неблагоприятные климатические условия для горных предприятий, расположенных в районах Крайнего Севера и приравненных к ним районах, <math>K_2=1,2</math></p>
МЦМ СССР «Типовые структуры управления и типовые штаты ИТР и служащих горных подразделений» [3]	$N=1,2106+0,0174 \times Q-0,00000896 \times Q^2,$ <p>где N – нормативная численность маркшейдеров, чел; Q – объем горной массы, тыс.м<sup>3</sup></p>	$N=(0,184 \times m-0,57) \times K_1 \times K_2,$ <p>где m – количество обслуживаемых объектов, шт.; <math>K_1</math> – коэффициент, вводимый за влияние глубины карьера; <math>K_2</math> – коэффициент, вводимый за неблагоприятные климатические условия</p>
«Типовые структуры управления и типовые штаты ИТР и служащих подземных рудников (шахт) и карьеров» [4]	$P_{м.р.}=1,03+0,009 \times Q$ <p><math>P_{м.р.}</math> – нормативная численность маркшейдеров; Q – плановый годовой объем добычи горной массы, тыс.м<sup>3</sup></p>	$P_{м.р.}=(0,6+0,1 \times Q) \times K_1 \times K_2,$ <p>где <math>P_{м.р.}</math> – нормативная численность маркшейдеров, чел., Q – плановый годовой объем добычи горной массы, млн.м<sup>3</sup>; <math>K_1</math> – коэффициент, вводимый за влияние глубины карьера; <math>K_2</math> – коэффициент, вводимый за неблагоприятные климатические условия</p>
«Организация маркшейдерских работ на горных предприятиях» [5]	$N=N_{вр.н} \times n_{выр.}/(T-t_{п.з.}),$ <p>где <math>N_{вр.н}</math> – месячная норма времени, необходимая для обслуживания горных выработок, мин; <math>n_{выр.}</math> – среднедействующее число очистных, основных и вспомогательных горных выработок, км; T – месячный бюджет рабочего времени одного маркшейдера, мин; <math>t_{п.з.}</math> – время, затрачиваемое маркшейдером в течении месяца на подготовительно-заключительные операции, мин.</p>	

## ГЕОДЕЗИЯ, МАРКШЕЙДЕРИЯ, ГИС

Таблица 2

**Результаты расчетов количества человек в штате маркшейдерских отделов отдельных рудников  
ОАО «Апатит» существующими методиками**

Численность штата	Наименование Рудника			
	Объединенный «Кировский» рудник	Рудник «Расвумчоррский»	Рудник «Центральный»	Рудник «Восточный»
«Инструкция по производству маркшейдерских работ» [1]	28/–	19/–		
«Проект производства маркшейдерских работ на рудниках ОАО «Апатит» [2]	34/2	10/–	–/6	–/8
Сборник МЦМ СССР «Типовые структуры управления и типовые штаты ИТР и служащих горных подразделений» [3]	26/2	20/–	–/4	–/4
Сборник «Типовые структуры управления и типовые штаты ИТР и служащих подземных рудников (шахт) и карьеров» [4]	24/2	20/–	–/4	–/6
«Организация маркшейдерских работ на горных предприятиях» [5]	31/–			–/6
Средневзвешенное значение	30/2	15/–	–/5	–/7
По штатному расписанию	30/–	13/–	–/7	–/7

Примечание: в числителе указаны значения численности сотрудников на подземных рудниках; в знаменателе – на карьерах.

Таблица 3

**Коэффициенты вариаций значений численности штатов маркшейдерских отделов рудников**

Наименование рудника	Коэффициент вариации, %
Объединенный «Кировский» рудник	13.36
Рудник «Расвумчоррский»	24.38
Рудник «Центральный»	20.20
Рудник «Восточный»	27.21

### Литература

1. Инструкция по производству маркшейдерских работ (РД 07-603-03). Охрана недр и геолого-маркшейдерский контроль. Серия 07, Выпуск 15. /Колл. авт.– М: Государственное унитарное предприятие «На-

учно-технический центр по безопасности в промышленности Госгортехнадзора России», 2003 – 120 с.

2. Проект производства маркшейдерских работ на рудниках ОАО «Апатит» /Научный центр геомеханики и проблем горного производства СПГГУ. СПб., 2011. – 143 с.

3. Типовые структуры управления и типовые штаты ИТР и служащих горных подразделений: Утв. 15/X 1975 г/ М-во цвет. металлургии СССР. – Москва: Б. И., 1976. – 56 с.

4. Типовые структуры управления и типовые штаты ИТР и служащих подземных рудников (шахт) и карьеров: Проект /М-во цвет. металлургии СССР. Центр по науч. организации труда и упр. производством в цвет. металлургии. – Челябинск: Б. и., 1973. – 46 с.

5. Стенин Н.И. Организация маркшейдерских работ на горных предприятиях. - 2-е изд., перераб. и доп.. – М. : Недра, 1986. – 175 с.

*Владимир Алексеевич Киселев, канд.техн.наук, доцент кафедры маркшейдерского дела, E-mail:kisselevva@yandex.ru;  
Людмила Радиковна Базыкина, канд.техн.наук, научный сотрудник лаборатории маркшейдерских работ НЦ геомеханики и проблем горного производства, тел.+79111898914, E-mail:79111898914@yandex.ru;  
Екатерина Сергеевна Базиляк, аспирант кафедры маркшейдерского дела, тел.+79213299975, E-mail:bazilyak.e.s@gmail.com  
(Национальный минерально-сырьевой университет «Горный» г.Санкт- Петербург)*



УДК 622.83

*Е.М.Волохов, С.Ю.Новоженин, В.И.Киреева*

## ПРОБЛЕМЫ ОЦЕНКИ СДВИЖЕНИЙ ГОРНЫХ ПОРОД ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ КРУПНЫХ ГОРОДСКИХ ПОДЗЕМНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СООРУЖЕНИЙ ТОННЕЛЕПРОХОДЧЕСКИМИ МЕХАНИЗИРОВАННЫМИ КОМПЛЕКСАМИ С АКТИВНЫМ ПРИГРУЗОМ ЗАБОЯ

Охарактеризована технология сооружения тоннелей проходческими механизированными комплексами (ТПМК) с пригрузом забоя с точки зрения воздействия на массив. Отмечены особенности деформирования массива и поверхности в условиях дополнительного нагнетания тампонажного раствора в заобделочное пространство на глубинах проходки, соизмеримых с радиусом тоннеля в слабых породах. Кратко проанализирован уже имеющийся арсенал методов предварительного расчета сдвижений и деформаций при ведении подземных горных работ. Приведены основные результаты исследований, проводимых в последние годы на кафедре маркшейдерского дела Горного университета по проблеме оценки сдвижений поверхности при строительстве тоннелей мелкого заложения ТПМК в сложных горно-геологических условиях.

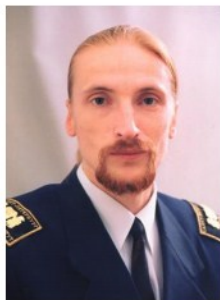
**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** подземное строительство; тоннели; зона влияния; моделирование; тоннелепроходческий механизированный комплекс.

*Е.М.Волохов, С.Ю.Новоженин, В.И.Киреева*

## PROBLEMS OF THE ASSESSMENT OF DISPLACEMENT OF ROCKS AT CONSTRUCTION OF LARGE CITY UNDERGROUND TRANSPORT CONSTRUCTIONS USING EARTH PRESSURE BALANCE-TUNNEL BORING MACHINE

The technology of tunneling construction using earth pressure balance shield (EPB) is described. Surface and massif deformation in case of grout overloading in the underlining space in the condition of the shallow depth is considered here. Briefly reviewed existing displacements and deformations precalculation methods in underground mining. Represented the main results of research carried in recent years at the Mine surveying department of Mining University on the issue of the surface displacement evaluation during the construction of tunnels in complex environment conditions using EPB technology.

**KEY WORDS:** underground engineering, tunnels, area of influence, modeling, earth pressure balance-tunnel boring machine.



Е.М.Волохов



С.Ю.Новоженин



В.И.Киреева

В современном мире развитие крупных городов невозможно без расширения и усовершенствования их транспортной инфраструктуры. И в первую очередь речь идет о строительстве новых станций и веток метрополитена. В связи с необходимостью сокращения затрат на строительство в последние годы все четче проявляется тенденция к уменьшению глубины заложения проектируемых выработок. При этом строительство подземных сооружений зачастую происходит в сложных горно-геологических условиях. Так, например, в условиях Санкт-Петербурга выход на малые глубины подразумевает организацию подземного строительства в неустойчивой толще четвертичных отложений, которая характеризуется наличием нескольких водоносных горизонтов, существенной неоднородностью по глубине и по трассе сооружений, низкими показателями сцепления и модуля деформаций пород этой толщи.

В таких условиях сооружение подземных выработок, таких, например, как перегонные тоннели, невозможно без применения специальных технологий проходки. Для этих случаев все чаще применяются тоннелепроходческие механизированные комплексы (ТПМК) с активным пригрузом забоя. Данная технология позволяет удерживать забой и контур породных обнажений в стабильном состоянии во время проход-

ки, а также максимально быстро сооружать мощную водонепроницаемую обделку тоннеля и заполнять практически все пустоты в заобделочном пространстве.

Характеризуя технологию сооружения тоннелей ТПМК с пригрузом забоя с точки зрения воздействия на массив, следует отметить использование целого комплекса новых (в сравнении с традиционными способами проходки) сложных и связанных между собой подсистем, основными из которых являются:

- подсистема пригруза забоя, обеспечивающая создание избыточного давления на породы в герметично отделенной от тоннеля призабойной зоне за счет присутствия в ней жидкой (при гидропригрузе) или густой (при породопригрузе) смеси измельченной породы, воды и различных специальных добавок, находящейся под давлением;

- подсистема разработки и выдачи породы с использованием режущего органа роторного типа с комплексом, обеспечивающим смещение плоскости ротора т.н. домкратами артикуляции;

- подсистема передвижки ТПМК с комплексом ходовых домкратов, расположенных по окружности в пределах хвостовой оболочки, обеспечивающая управление траекторией движения и ориентацией щита ТПМК в пространстве;

- подсистема непрерывного нагнетания раствора в пространство между породой и обделкой тоннеля, позволяющая подавать сложный многокомпонентный раствор через систему сопел, расположенных на хвостовой оболочке, прямо в процессе плавного движения ТПМК.

В отличие от традиционных щитовых механизированных комплексов (например, таких как КТ-5.6), широко используемых в практике тоннеле- и метро-строения, разработка и выдача породы, передвижка щита и нагнетание раствора в заобделочное пространство происходит одновременно. Остановка

## ГЕОДЕЗИЯ, МАРКШЕЙДЕРИЯ, ГИС

ТПМК происходит только на период монтажа очередного кольца блочной обделки. Здесь, как правило, используется блочная бетонная т.н. высокоточная (допуски по геометрии на готовое изделие исчисляются первыми миллиметрами) обделка со специальными прокладками по всем стыкам блоков. Такая водонепроницаемая обделка вкпе с затвердевшим раствором заобделочного нагнетания (толщиной около 150 мм) обеспечивает практически полную защиту от грунтовых и других вод.

Упомянутые выше подсистемы и технологические особенности не только позволяют организовать строительство тоннелей в сложных инженерно-геологических условиях, но и обеспечить минимизацию влияния горных работ на породный массив и даже создать условия для управления геомеханическими процессами в режиме реального времени.

Известно, что сооружение тоннеля нарушает природное равновесие в породном массиве, сдвигения, возникающие у тоннеля, развиваются вплоть до поверхности, на которой образуется и развивается мульда сдвижений. Если говорить о малых глубинах проходки с использованием ТПМК, соизмеримых с радиусом тоннеля, на которых как раз наиболее перспективно применение такой технологии, то именно здесь воздействие на породный массив каждой из упомянутых систем может практически сразу проявляться на земной поверхности и в приповерхностной зоне, где в основном и локализуются объекты городской инфраструктуры. Даже сама передвижка ТПМК с использованием ходовых домкратов может оказывать здесь влияние на поверхность.

Практика применения таких «малоосадочных» технологий проходки тоннелей в Москве и Санкт-Петербурге в очередной раз показала, что несмотря на внушительный арсенал описанных выше технологических средств полностью исключить проявление сдвижений на земной поверхности не удается [3]. Сдвигения в приповерхностном слое пород над тоннелем развиваются вслед за движением ТПМК и характеризуются существенной неравномерностью, высокими скоростями их изменения, а иногда и сменой знака сдвижений (с пучений к оседаниям и наоборот) и дискретностью их проявления. Так, при строительстве перегонного двупутного тоннеля Фрунзенского радиуса Санкт-Петербургского метрополитена наряду с оседаниями фиксировалось поднятие массива, которое достигало 30 мм на отдельных участках. Данный тоннель диаметром 10.4 м на участке от ст.Южная до ст.Дунайский проспект проходил в толще четвертичных отложений на глубине 10-14 м (по щельге свода). Проходка осуществлялась ТПМК Herrenknecht с грунтопригрузом. Долговременное поднятие массива после его подработки можно объяснить применением так называемой технологии перенагнетания, когда заобделочное пространство заполняется тампонажным раствором в объеме до 120% от теоретического. Высокая чувствительность толщи к малейшим изменениям режима проходки стала причиной развития на поверхности и в массиве крайне неравномерных значений сдвижений и соответственно больших деформаций, которые также характеризовались высокими скоростями развития и относительно малой зоной локализации. Подработка

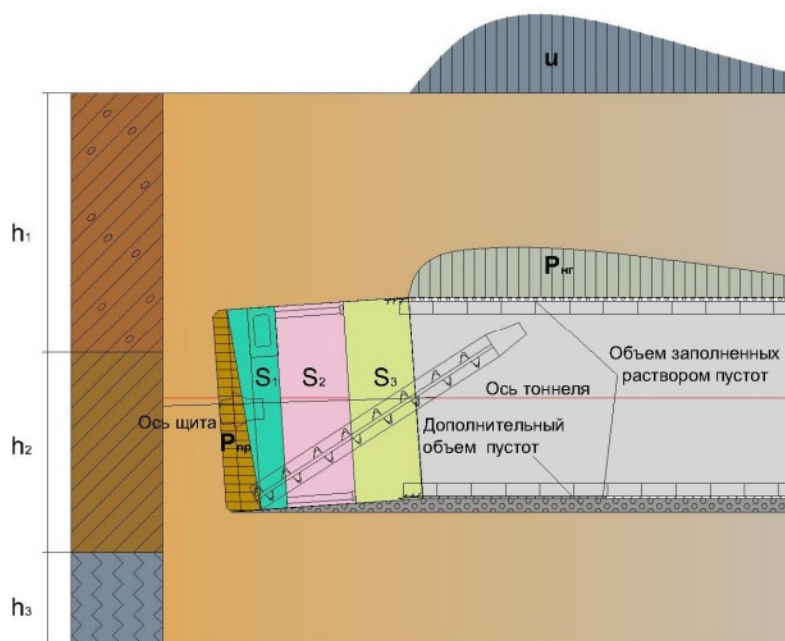
в таком режиме подземных коммуникаций водоканала (на перегоне «Южная»-«Дунайский проспект») стала причиной разрушения магистрального трубопровода. При строительстве Лефортовского и Серебряноборских транспортных тоннелей в Москве с применением ТПМК аналогичного класса диаметром 14.6 м, также не удалось полностью исключить проявления деформаций на поверхности [9]. Оседания над осью тоннеля здесь достигали величин 30-40 мм, и также характеризовались высокими значениями деформаций наклона и кривизны.

Анализируя развитие геомеханических процессов в окружающем тоннель массиве, можно отметить весьма сложный характер деформаций породного массива, сильно зависящий не только от геологических и гидрогеологических условий проходки, но и от выбранных технологических параметров указанных выше подсистем ТПМК. Так, неправильный выбор оператором («пилотом» ТПМК) значений давлений в системе активного пригруза забоя или неадекватного режима нагнетания в заобделочное пространство может привести как к оседаниям, так и к пучениям на земной поверхности. Подробный анализ развития геомеханических процессов в породном массиве при использовании ТПМК с разделением деформационных процессов на стадии произведен нами в работе [4]. Кратко характеризуя развитие сдвижений и деформаций поверхности на основе данных натурных наблюдений [3], необходимо отметить, что высокие скорости строительства, большая чувствительность толщи пород к изменениям технологических режимов проходки и дискретный характер развития сдвижений, даже при незначительных значениях последних (до 30-40мм), создают условия для развития существенных деформаций ( $k = 0,8 - 1,4 \cdot 10^{-3} 1/м$ ), представляющих опасность для подрабатываемых сооружений и подземных коммуникации.

Несмотря на большое количество работ, посвященных данной проблематике, вопросы прогнозной оценки вредного влияния подземного строительства тоннелей ТПМК с пригрузом забоя и разработки инженерных методов расчета к настоящему времени не решены, в нормативных документах, связанных с вопросами охраны зданий и сооружений такая технология вообще не рассматривается. Применение традиционных методик и расчетных теоретических схем, используемых при строительстве тоннелей, для оценки сдвижений и деформаций здесь, в виду существенных отличий в технологии проходки и в формах воздействия на массив, недопустимо. Все вышеперечисленное говорит об актуальности разработки новых прогнозных методов оценки сдвижений и деформаций массива с учетом особенностей рассматриваемых здесь технологий проходки тоннелей.

Наши исследования [2] показывают, что основными технологическими факторами, определяющими уровень сдвижений для данной технологии, помимо традиционно рассматриваемых (способа крепления и характеристик обделки, глубины заложения и диаметра тоннеля), являются: давление активного пригруза забоя, давление и объем раствора, нагнетаемого в заобделочное пространство, геометрия ротора и оболочки щита ТПМК и их взаимная ориентация в

процессе разработки грунта рабочим органом, продольный крен щита ТПМК при проходке, объем (вес) извлекаемой грунтовой массы из призабойной камеры (рис.1). Методика прогнозной оценки сдвижений помимо перечисленных факторов должна учитывать физико-механические свойства окружающих тоннель пород, в том числе с учетом возможных работ по грунтозакреплению, динамику развития горных работ и наличие механически значимых объектов наземной инфраструктуры в пределах зоны влияния.



**Рис.1. Пример расчетной схемы для оценки сдвижений при проходке перегонного тоннеля ТПМК "Надежда":**

$h_1, h_2, h_3$  - мощности слоев четвертичных отложений;  
 $S_1, S_2, S_3$  - основные зоны ТПМК;  $P_{пр}, P_{нг}$  - давление пригруза забоя и нагнетания в заобделочное пространство;  
 $u$  - сдвиги на поверхности земли

Кратко проанализируем уже имеющейся арсенал методов предварительного расчета сдвижений и деформаций поверхности при ведении подземных горных работ. Все методы можно условно разделить на три большие группы: эмпирические и полуэмпирические, аналитические и аналитико-эмпирические, математическое моделирование на базе численных методов.

В нашей стране первые из них были получены на основе систематических натуральных наблюдений сдвижений на угольных и рудных месторождениях. Большой вклад в решение проблем этой области был сделан учеными Всесоюзного научно-исследовательского института горной механики и маркшейдерского дела (ВНИМИ) И.М.Бахуриным, С.Г.Авершиным [1], Д.А.Казаковским, Р.А.Муллером, М.А.Иофисом и другими, которые заложили основы, до сих пор используемой методологии охраны зданий и сооружений. На основе исследований ВНИМИ был выпущен ряд нормативных документов [6,7,11], которые в виде актуализированных версий регламентируют процессы подработки и сейчас. Метод типовых кривых, с помощью которого здесь рекомендуется осуществлять предрасчет сдвижений и деформаций, относится к полуэмпирическим методам. Основной проблемой применения этих методов является их ориентация на геомеханические процессы добычи

полезных ископаемых, существенно отличающиеся от процессов в тоннелестроении. Применение аналогичного подхода для условий классического строительства тоннелей осуществлено М.А.Иофисом и М.В.Долгих [5].

Другая группа исследований, специально ориентированных на тоннеле- и метростроение, опирается на точные аналитические решения механики сплошной среды, с помощью которых определяются основные параметры мульд сдвижений, и также на метод типовых кривых, полученных из натуральных данных. Такие методы можно классифицировать как аналитико-эмпирические. Здесь следует отметить комплексные исследования Ю.А.Лиманова, работы М.А.Иофиса, В.Ф.Подкова, В.П.Хуцкого и других ученых [8,10,15], где решается задача определения мульды сдвижения при строительстве перегонных и эскалаторных тоннелей, а также станций метрополитена традиционными способами в горно-геологических условиях Ленинграда.

Если говорить о разработках иностранных ученых, то стоит отметить в первую очередь работы Р.Пека (в которых автором были собраны и проанализированы данные оседаний поверхности при строительстве более чем 20 тоннелей неглубокого заложения в разных типах пород), можно отметить ориентацию на использование кривой нормального распределения Гаусса для описания поперечном сечении мульды сдвижений и выявление специфики деформирования основных разновидностей слабых грунтов [16]. Эти методы также относятся к полуэмпирическим методам.

В последние годы с развитием возможностей ЭВМ все более успешно для оценки сдвижений и деформаций применяются численные методы математического моделирования, такие как метод конечных элементов (МКЭ), метод конечных разностей, метод граничных элементов и др. Наибольшее распространение из них на данный момент получил МКЭ. Суть данного метода заключается в разбиении расчетной области на элементы конечных размеров, совместность деформаций в которых обеспечивается в узловых точках. В самих элементах напряжения и деформации описываются элементарными функциями. Большим плюсом описания геомеханических процессов с помощью таких моделей является возможность учета в них многих особенностей массива и технологии строительства.

Метод конечных элементов широко используется для геомеханического моделирования строительства тоннелей. Здесь можно отметить современные работы А.Г.Протосени [12], В.М.Улицкого, С.В.Мазейна, В.В.Речицкого, Д.В.Панфилова, Д.А.Потемкина, М.А.Карасева, П.А.Деменкова, И.К.Спруна, Фам Ань Туана, Suchatvee Suwansawat и др.

В работах В.В.Речицкого [13] выявлены факторы, оказывающие наибольшее влияние на оседания поверхности в слабых грунтах. К ним отнесены диаметр тоннеля, модуль деформации грунтов и степень разгрузки массива. Расчеты производились как в упругой, так и в упруго-пластической постановке, которые показали существенные различия результатов данных моделей грунтов. Наибольшее различие в оседаниях над осью тоннеля было зафиксировано у



## ГЕОДЕЗИЯ, МАРКШЕЙДЕРИЯ, ГИС

супесей, минимальное - у глин. Также было установлено, что размеры зон влияния подземных работ (ширина мульды оседания поверхности) определяются в основном типом грунта и глубиной залегания тоннеля. В то же время в данной работе не были учтены многие особенности современных технологий проходки, т.к. расчеты производились в двухмерной постановке.

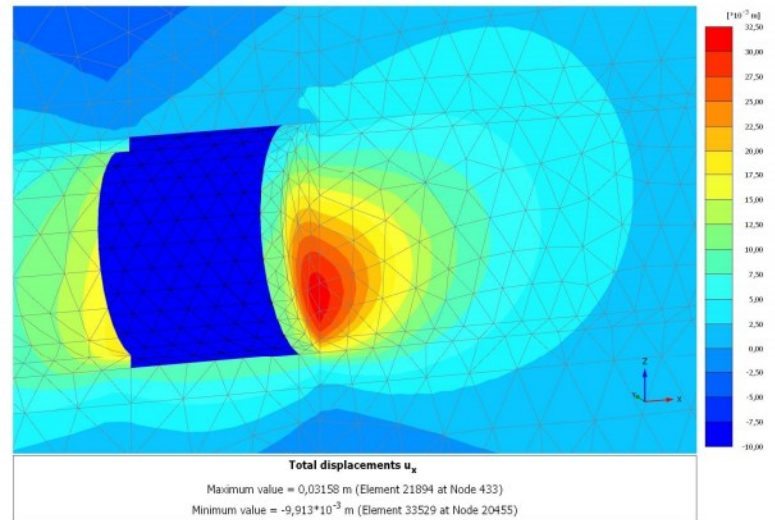
В попытке решить вышеотмеченную проблему Д.В.Панфилов в своей работе [10] проанализировал и отметил основные недостатки методов расчета сдвижений в двухмерной постановке. Была разработана методика пространственного моделирования процессов деформирования массива. Выделены случаи, где есть существенная необходимость в расчете оседаний в трехмерной постановке. Однако, используемые здесь подходы не всегда подходят для некоторых вариантов нагнетания в заобделочное пространство. Так, например, сейчас при строительстве тоннелей с помощью ТПМК наряду с подачей пригруза, поддерживающего лоб забоя во время проходки, иногда производится избыточное нагнетание тампонажного раствора в заобделочное пространство, что значительным образом влияет на НДС массива, особенно при малых глубинах заложения тоннеля. Так при строительстве перегонного двухпутного тоннеля метрополитена мелкого заложения в Санкт-Петербурге с применением такого «перенагнетания» были зафиксированы поднятия над осью тоннеля вплоть до 30 мм [3].

В работе Фам Ань Туана [14] отмечалась необходимость учета в моделях проходки с помощью ТПМК конусности щита, величины перебора грунта, давления на забой и степени заполнения заобделочного пространства. Нагнетание за обделку имитировалось с помощью дополнительного порового давления в поперечном сечении тоннеля. По результатам численных экспериментов при определенных значениях заполнения заобделочного пространства фиксировалось поднятие грунтового массива. В связи с тем, что в данном исследовании «перенагнетание» не рассматривалось (да и сами значения пучений были незначительны), данный эффект дополнительно не учитывался и не изучался.

Отдельно стоит отметить работы С.В.Мазеина, в которых было проведено детальное изучение влияния изменения режимов проходки на сдвижения поверхности и обоснованы управляющие воздействия, минимизирующие оседания. Данные исследования были произведены на основе большого объема натурных данных, полученных при проходке Лефортовского и Серебряноборских тоннелей в Москве. Здесь приведена методика текущего предрасчета сдвижений на основе мониторинга объемного или массового расхода извлекаемой при щитовой проходке горной массы, выявлена связь между всплыванием колец и оседаниями на поверхности земли. Отдельно отмечается необходимость в совместном дискретно-непрерывном маркшейдерском и геофизическом мониторинге структурных неоднородностей массива впереди забоя, объемов извлекаемой горной массы и пространственного положения щита для корректного выбора режимов проходки в сложных горно-геологических условиях. В то же время здесь также не исследовалась проблема воздействия на НДС

массива избыточного нагнетания в заобделочное пространство.

Основным недостатком большинства работ, опирающихся на математическое моделирование, является ориентация на решение технологических задач проходки, вопросы оценки вредного влияния здесь находятся на втором плане, задача обеспечения охраны подрабатываемых зданий и сооружений, как это принято в маркшейдерской практике, фактически не рассматриваются.



**Рис.2. Моделирование сдвижений и деформаций с использованием МКЭ для двухпутного перегонного тоннеля Фрунзенского радиуса метрополитена Санкт-Петербурга**

Исследования, проводимые в последние годы на кафедре маркшейдерского дела Горного университета в рамках ряда хозяйственных работ по трём линиям метрополитена Санкт-Петербурга, показали перспективность применения математического моделирования на основе МКЭ [4]. В условиях ограничений по натурным данным, особенно в случаях внедрения новых технологий проходки, математическое моделирование позволяет построить прогнозную модель, учитывающую практически все описанные выше геологические и технологические факторы на базе известного математического аппарата приближенных численных методов механики сплошной среды (рис.2). В ходе исследований на базе анализа комплекса натурных данных и моделирования МКЭ, наиболее значимыми технологическими факторами (каждый из которых исследовался отдельно) были признаны: давление пригруза забоя, давление и объем нагнетания за обделку, объем извлеченного грунта, геометрия оболочки и продольный крен щита, скорость проходки.

Вместе с тем необходимо отметить, что само моделирование плохо подходит для реализации текущей оценки вредного влияния горных работ, выполняемых маркшейдерскими отделами или специализированными организациями, оно не регламентировано в Правилах охраны и, к тому же, требует определенной подготовки специалистов, наличия специального программного обеспечения. Поэтому для оценки вредного влияния по-прежнему предпочтительным является разработка приближенных инженерных методов прогноза сдвижений.

В заключение отметим основные результаты



проведенного анализа и наших исследований по проблеме оценки сдвижений поверхности в процессе строительства тоннелей мелкого заложения ТПМК в сложных горно-геологических условиях:

- в связи с внедрением принципиально новых технологий в тоннелестроении, увеличением скоростей проходки, увеличением диаметров строящихся выработок и сложными горно-геологическими условиями при выходе на малые глубины, проблема разработки методов оценки сдвижений и деформаций массива по-прежнему остается актуальной, несмотря на большое количество исследовательских работ в данной области;

- достоверность прогнозной методики оценки сдвижений в этих условиях может быть обеспечена только при условии учета таких усредненных по трассе технологических параметров (обычно фиксируемых датчиками во время проходки) как: давление пригруза забоя, давление и объем нагнетания за обделку, объем извлеченного грунта, геометрия облочки и продольный крен щита, скорость проходки;

- из технологических факторов наименее изученным и особо значимым на малых глубинах следует признать нагнетание в заобделочное пространство, что требует проведения дополнительных исследований в части его влияния на вмещающий массив и подрабатываемые сооружения, с учетом возможностей нагнетания избыточного объема тампонажного раствора при проходке тоннелей с помощью ТПМК;

- разработка адекватной методики прогнозного расчета сдвижений и деформаций поверхности с использованием рассмотренных технологий может быть построена на базе численного моделирования, при условии опоры на результаты комплекса натурных исследований сдвижений массива в конкретных геологических и технологических условиях проходки;

- из-за особенностей строительства тоннелей мелкого заложения ТПМК, определяющих условия стремительного развития сдвижений, существует необходимость обоснования требований к новым методам мониторинговых наблюдений за породным массивом, поверхностью и подрабатываемыми объектами, позволяющим осуществлять контроль в режиме реального времени.

### Литература

1. Авершин С.Г. Расчет деформаций массива горных пород под влиянием подземных разработок [Текст] / С.Г.Авершин. – Л.: ВНИМИ, 1960. – 87 с.
2. Волохов Е.М. Методы моделирования проходки тоннелей на основе метода конечных элементов при оценке сдвижений и деформаций земной поверхности над тоннелями [Текст] / Е.М.Волохов, Н.С.Бак, С.Ю.Новоженин // XI International Congress vol.1 - 2013. - С. 611-617.
3. Волохов Е.М. Проблемы организации натурных

маркшейдерских исследований и геотехнического мониторинга при применении современных технологий строительства подземных сооружений [Текст] / Е.М.Волохов, С.Ю.Новоженин, В.И.Киреева //Маркшейдерский вестник. – 2015 г. – №3. – С. 27-30.

4. Волохов Е.М. Проблемы оценки сдвижений и деформаций горных пород при сооружении эскалаторных тоннелей с использованием тоннелепроходческих механизированных комплексов [Текст] / Е.М.Волохов, С.Ю.Новоженин, В.И.Киреева //Маркшейдерия и недропользование. – 2015 г. – №2(76). – С. 14-18.

5. Долгих М.В. Сдвигение земной поверхности при строительстве объектов метрополитена Санкт-Петербурга [Текст] / М. В. Долгих. : автореф. дисс. ... канд. техн. наук. – СПб. : СПГГИ. – 1999.

6. Здания и сооружения на подрабатываемых территориях и просадочных грунтах [Текст] : СНиП 2.01.09–91. – М. : АПП ЦИТП, 1992. – 32 с.

7. Инструкция по наблюдениям за сдвигениями земной поверхности и расположенными на ней объектами при строительстве в Москве подземных сооружений [Текст]: РД 07–166–97: утв. постановлением Госгортехнадзора России от 17.09.97 №29: введ. в действие 17.09.97. – М. – 2002. – 42 с.

8. Лиманов Ю.А. Осадки земной поверхности при сооружении тоннелей в кембрийских глинах [Текст] / Ю.А.Лиманов. – Л. : Изд.ЛИИЖТа, 1957. – 233 с.

9. Мазеин С.В. Комплексный маркшейдерско-геофизический мониторинг для геомеханического обеспечения щитовой проходки при освоении подземного пространства мегаполисов [Текст] / С.В.Мазеин : автореф. дисс. ... д-ра. техн. наук. – Москва. – 2005.

10. Панфилов Д.В. Методика прогнозирования деформаций земной поверхности при сооружении транспортных тоннелей на основе пространственного моделирования [Текст] / Д.В.Панфилов : автореф.дисс... канд. техн. наук. – Москва. – 2005.

11. Правила охраны сооружений и природных объектов от вредного влияния подземных горных разработок на угольных месторождениях [Текст] : ПБ 07–269–98 : утв.постановлением Госгортехнадзора России от 16.03.98 № 13. – СПб. – 1998. – 291 с.

12. Протосеня А.Г. Механика подземных сооружений. Пространственные модели и мониторинг [Текст] / А.Г.Протосеня [и др.]. – СПб: СПГГУ–МАНЭБ, 2011. – 355 с. с ил. – ISBN 978–5–93048–061–0.

13. Речицкий В.В. Прогнозирование деформаций дневной поверхности при проходке туннелей [Текст] / В.В.Речицкий: автореф. дисс. ... канд. техн. наук. -Москва. - 2005.

14. Фам Ань Туан. Выбор и обоснование эффективных методов строительства автотранспортных тоннелей в крупнейших городах Вьетнама [Текст] / Фам Ань Туан : автореф. дисс....канд. техн. наук. – Москва. – 2006.

15. Хуцкий В.П. Сдвигение земной поверхности при строительстве пересадочных узлов метрополитена в условиях Санкт-Петербурга [Текст] / В.П.Хуцкий. : автореф. дисс. ... канд. техн. наук. – СПб. – 2003.

16. Peck R.B. Deep excavations and tunneling in soft ground / R.B.Peck // Proc. of the 7th int. Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering. – 1969. - P.225 – 290.

Евгений Михайлович Волохов, канд.техн.наук, доцент, тел. (812) 328-82-59, E-mail: volohov@spmi.ru;  
Сергей Юрьевич Новоженин, канд.техн.наук, ассистент, тел. (812) 328-82-59, E-mail: snovx@mail.ru;  
Вероника Игоревна Киреева, аспирант, тел. (812) 328-82-59, E-mail: chacter@mail.ru  
(Кафедра маркшейдерского дела, Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», Санкт-Петербург)

УДК 622.1 + 528.1

Е.А.Красильникова, А.В.Зубов

## СРАВНЕНИЕ АЛГОРИТМОВ ПОИСКА ГРУБООШИБОЧНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ В МАРКШЕЙДЕРСКО-ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ СЕТЯХ

Рассмотрены различные алгоритмы поиска грубых ошибок, использующие поправки из уравнивания. Приведена эффективность данных методов при поиске одной и нескольких ошибок на примере нивелирной сети.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** поиск грубых ошибок; метод наложения графиков поправок; метод нормированных поправок; метод наименьших модулей; робастные методы.

Е.А.Krasil'nikova, A.V.Zubov

## COMPARISON OF ALGORITHMS OF SEARCH OF GROSS ERRORS MEASUREMENTS IN SURVEYOR GEODESIC NETWORKS

Various algorithms of detecting gross errors using residuals from adjustment are considered. The efficiency of these methods in case of detecting one and more outliers is given on the example of levelling network.

**KEY WORDS:** detection of gross errors; the method of superposition of graphs of residuals; the method of normalized residuals; the least modules method, robust methods.



Е.А.Красильникова



А.В.Зубов

Достоверные маркшейдерско-геодезические данные требуются в различных областях производства. Даже среди качественно произведенных измерений

остается вероятность появления грубых ошибок, которые искажают конечный результат и влекут за собой дополнительные временные и материальные затраты на производство повторных наблюдений.

Существующие методы поиска грубых ошибок можно условно разделить на две группы: 1) отбраковка грубых ошибок перед уравниванием и 2) по результатам уравнивания, которые в свою очередь делятся на: 2.1) методы, использующие статистические тесты для анализа результатов, полученных по методу наименьших квадратов (МНК) и 2.2) робастные или устойчивые методы, основанные на минимизации влияния грубоошибочных измерений на оценки, получаемые при уравнивании сети.

Отбраковка грубых ошибок перед уравниванием заключается в проверке условий, например, для условия фигур: отклонение суммы измеренных углов в плоском треугольнике от  $180^\circ$  должно быть не более допустимой величины:

$$W_{\text{доп}} = 2.5m\sqrt{3}, \quad (1)$$

где  $W_{\text{доп}}$  - допустимая невязка;  $m$  - СКО измерения угла в треугольнике; 2.5 – нормирующий множитель для доверительной вероятности  $p=0,988$ .

В настоящее время измерительная информация собирается автоматизированными методами и в громадном объеме, при этом выявление грубых ошибок уже затруднительно осуществлять вручную с помощью проверки различного рода условий. В работе рассмотрены методы, основанные на анализе поправок из уравнивания, так как использование их для целей выявления промахов более целесообразно – они позволяют выявлять меньшие по величине грубые ошибки, чем при использовании невязок условных уравнений [4]. Проблемы, возникающие при поиске

грубых ошибок по поправкам, связаны с особенностью метода наименьших квадратов (МНК), которая заключается в том, что на формирование каждой поправки оказывают влияние ошибки всех измерений. Проиллюстрируем данное свойство, произведя преобразование параметрического уравнения поправок:

$$V = AX + L = A(-N^{-1}A^T PL) + L = (E - AN^{-1}A^T P)L = GL, \quad (2)$$

где  $A$  – матрица коэффициентов параметрических уравнений поправок;  $X$  – вектор-столбец поправок в предварительные значения определяемых величин;  $N$  – матрица коэффициентов нормальных уравнений;  $L$  – матрица свободных членов уравнений поправок;  $E$  – единичная матрица;  $G$  – матрица линейных преобразований.

Таким образом, грубая ошибка не всегда соответствует измерению с максимальной поправкой, так как распределение ошибок определяется и геометрией сети, то есть матрицей  $G$ . По этой причине целесообразно использовать те методы идентификации грубых ошибок, в которых фигурирует данная матрица.

Наиболее известным из них является метод отбраковки по нормированным поправкам, основы которого были заложены W.Vaarda [7]. Критерием отбраковки служит выражение:

$$\frac{|V_i|}{t\sqrt{K_{V_{i,i}}}} \geq 1, \quad (3)$$

где  $V_i$  - значение поправки из уравнивания;  $K_{V_{i,i}}$  - диагональный элемент ковариационной матрицы поправок;  $t$  - нормирующий множитель. Отбраковке подлежит то измерение, для которого значение критерия максимально. Связь с матрицей  $G$  прослеживается здесь через ковариационную матрицу поправок, которая вычисляется как:

$$K_V = m_0^2 P^{-1} G^T, \quad (4)$$

где  $m_0$  - априорная ошибка единицы веса (константа, принятая до уравнивания);  $P$  - весовая матрица.

Недостаток метода заключается в том, что при наличии нескольких грубых ошибок в сети её уравнивание и процедуру проверки на грубую ошибку необходимо выполнить несколько раз.



Другим известным методом, использующим матрицу  $G$  и позволяющим ослабить названный недостаток, является метод наложения графиков поправок [2]. Достоинством его является и то, что он позволяет работать с предполагаемыми («чистыми») ошибками измерений, а не с искаженными их влиянием поправками. Значения предполагаемых ошибок вычисляются приближенно через диагональные элементы матрицы  $G$ . Затем вычисляются псевдопоправки в каждое измерение, зависящие от предполагаемых ошибок:

$$v_{ij} = -G_{ij} \Delta_j, \quad (5)$$

где  $v_{ij}$  - вычисленные псевдопоправки;  $\Delta_j$  - значение предполагаемой («чистой») ошибки  $j$ -го измерения. Если бы в  $j$ -м измерении не было бы грубой ошибки, то псевдопоправка была бы малой случайной величиной, а их совокупность (вычисленных для всех  $j=n$  измерений) формировала бы  $i$ -ю поправку. При наличии грубой ошибки в  $j$ -м измерении псевдопоправки перестают быть случайными величинами: они оказывают определяющие воздействия на формирование всех поправок. Основываясь на этом, автор [2] предложил сравнивать полученные из уравнивания значения поправок с псевдопоправками, вычисленными при поочередном предположении о том, что грубая ошибка находится в  $1, 2, \dots, n$  измерении. Графической интерпретацией метода является наложение графиков поправок из уравнивания и псевдопоправок для случая каждого предположения. Грубая ошибка содержится в том измерении, для которого совпадение этих графиков наилучшее [2]. Математической формой критерия выявления грубой ошибки служит

$$\delta_j \leq \delta_{\text{дон}}, \quad (6)$$

где  $\delta_j = \sqrt{\frac{P_i(V_i - v_{ij})^2}{n}}$  - СКО псевдопоправок от поправок из уравнивания;  $\delta_{\text{дон}} = m_0 \sqrt{\frac{r}{n}}$  - допустимое СКО;  $r$  - число избыточных измерений;  $n$  - число измерений.

Модификация метода наложения графиков поправок позволяет выявлять несколько грубых ошибок сразу, при этом значения предполагаемых ошибок находят из решения системы из  $k$  уравнений, где  $k$  - количество одновременно выявляемых грубых ошибок ( $k \leq r$ ). Достоинством одновременного поиска нескольких грубых ошибок является ускорение их нахождения, а недостатком - увеличение количества вычислений: для того, чтобы проверить сеть на наличие комбинаций ошибок необходимо сделать

$C_k^n = \frac{n!}{k!(n-k)!}$  предположений о местонахождении комбинации.

В настоящее время идет развитие робастных методов (*robust* - сильный, устойчивый), которые могут быть использованы как для уравнивания сетей, содержащих грубые ошибки измерений, так и для нахождения грубых ошибок и последующего уравнивания по МНК. Главное достоинство робастных методов - возможность получать эффективные оценки в слу-

чае отклонения ошибок от нормального распределения (например, наличия грубых ошибок) [1]. Принято деление робастных оценок на несколько групп. В соответствии с классификацией Хампеля [5] выделяют следующие основные классы оценок:  $L$  - линейные комбинации порядковых статистик;  $M$ -оценки обобщенного максимального правдоподобия;  $R$ -оценки, полученные в ранговых критериях. Получение всех робастных оценок основано на минимизации некоторой целевой функции, отличной от целевой функции МНК. Например, среди  $L$ -оценок наиболее известен метод наименьших модулей (МНМ), целевая функция которого имеет вид:

$$\Phi_{\text{МНМ}} = \sum_{i=1}^n p_i |v_i| = \min, \quad (7)$$

где  $p_i$  - значение веса  $i$ -го измерения;  $v_i$  - поправка в  $i$ -е измерение. Так как связь между измеренными величинами и определяемыми параметрами в геодезических сетях, как правило, нелинейна, то для того, чтобы найти минимум целевой функции можно применять либо нелинейные алгоритмы, либо метод квадратично-взвешенных приближений. Чаще используют второй метод, который сочетает достоинства параметрического уравнивания по МНК - простоту и достоинство робастных оценок - устойчивость. Метод квадратично-взвешенных приближений основан на решении способом итераций с использованием целевой функции МНК, для которой веса - не постоянные величины, а рассчитываются, исходя из вида целевой функции робастной оценки. Решение выполняется до достижения сходимости результатов. Среди оценок последнего приближения грубоошибочные измерения будут иметь минимальный вес, а значение поправки будет равно величине грубой ошибки.

Находя минимум специально подобранной параболы (целевой функции МНК), осуществляется и нахождение минимума робастной целевой функции  $\rho(V)$ . Подбор параболы осуществляется за счёт расчёта весов по весовой функции, которая зависит от функции влияния. Например, для МНМ эти функции имеют следующий вид:

$$\omega(V) = \frac{\varphi(V)}{2V} = \frac{p}{2} \cdot \frac{1}{|V|}; \quad (8)$$

$$\varphi(V) = \frac{d\rho(V)}{dV} = p \cdot \frac{V}{|V|} = p \cdot \text{sgn}(V), \quad (9)$$

где  $\omega(V)$  - весовая функция;  $\varphi(V)$  - функция влияния;  $\rho(V)$  - целевая функция МНМ;  $V$  - поправка из уравнивания;  $p$  - первоначальное значение веса, получаемое при первичной обработке по МНК.

Основоположником использования робастных оценок в статистике Хьюбером было доказано, что  $M$ -оценки являются самыми общими, так как все прочие оценки ищутся на их основе [6]. В качестве целевой функции используется непрерывная и ограниченная функция, имеющая глобальный минимум. Кроме того, она должна удовлетворять требованиям:

$$\begin{aligned} \rho(0) &= 0 & \rho(V) &\geq 0 \forall V & \rho(-V) &= \\ &= \rho(V) & \rho(V_1) &\geq \rho(V_2) \text{ при } |V_1| \geq |V_2|. \end{aligned} \quad (10)$$

Среди многочисленных  $M$ -оценок были выбраны

# ГЕОДЕЗИЯ, МАРКШЕЙДЕРИЯ, ГИС

четыре для исследования их эффективности: Функция Хьюбера [6]; «Альтернатива МНМ»; «Правило альтернативы» и функция Эдуола [8]. Характеристики данных оценок сведены в таблицу (табл.1).

Для практического исследования были выбраны следующие методы: метод нормированных поправок,

метод наложения графиков поправок, МНМ и М-оценки, представленные в таблице. Для сравнения их эффективности была смоделирована нивелирная сеть III класса (рис.1).

Таблица 1

Характеристики исследуемых М-оценок

М-оценка	Целевая функция	Функция влияния	Оценочная функция	Константа с
ALAD («Альтернатива МНМ»)	$p\sqrt{V^2 + c^2}$ , где $p$ – вес; $V$ – поправка из уравнивания	$\frac{pV}{\sqrt{V^2 + c^2}}$	$\frac{p}{2\sqrt{V^2 + c^2}}$	0,001
HU (Функция Хьюбера)	$\begin{cases} \frac{1}{2} pV^2,  V  \leq c \\ p\left(c V  - \frac{c^2}{2}\right),  V  > c \end{cases}$	$\begin{cases} pV,  V  \leq c \\ pc \cdot \text{sgn} V,  V  > c \end{cases}$	$\begin{cases} \frac{1}{2} p,  V  \leq c \\ \frac{1}{2} p \frac{c}{ V },  V  > c \end{cases}$	0,012
CRA («Правило альтернативы»)	$-\exp\left(-\frac{V^2}{2\sigma_0^2}\right)$ , где $\sigma_0$ – априорное СКО измерения	$pV \cdot \exp\left(-p\frac{V^2}{2}\right) p = \sigma^{-2}$	$\frac{1}{2} p \cdot \exp\left(-p\frac{V^2}{2}\right)$	—
AD (Функция Эдуола)	$\sigma_0^2 \cdot \ln(\sigma^2 + V^2)$ , где $\sigma$ – апостериорное СКО единицы веса	$\frac{2V\sigma_0^2}{\sigma^2 + V^2}$	$\frac{\sigma_0^2}{\sigma^2 + V^2}$	—

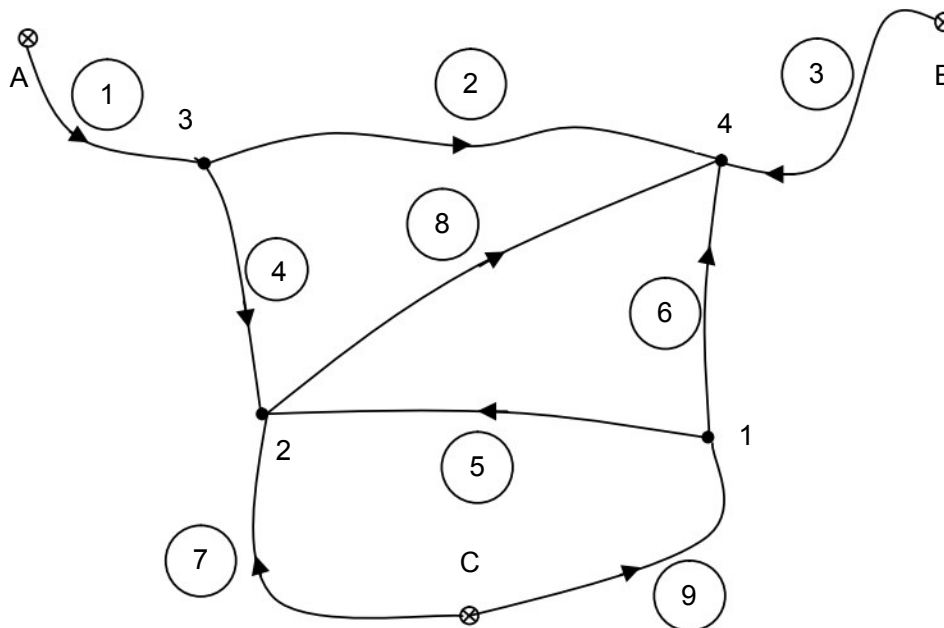


Рис.1. Тестируемая сеть нивелирования

В превышения вводились грубые ошибки, связанные с внутренней надёжностью [7] коэффициентом  $k$  (формула 11):

$$\Delta_{\Gamma_i} = k \cdot \Delta_{\min_i}; \quad (11)$$

$$\Delta_{\min_i} = \frac{t \cdot m_i}{\sqrt{G_{i,i}}}, \quad (12)$$

где  $\Delta_{\Gamma_i}$  – величина вводимой грубой ошибки;  $k$  – коэффициент (в работе использовались 4 значения: 0,95; 1,00; 1,10 и 1,25, т.е. закладывались малые грубые ошибки, начиная от приближающихся к грубым);  $\Delta_{\min_i}$  – величина внутренней надёжности измерения;  $t$  – нормирующий множитель для выбранной довери-

тельной вероятности;  $m_i$  – СКО измерения;  $G_{i,i}$  – диагональный элемент матрицы  $G$  (или частная избыточность измерения [3]).

Для нахождения одной грубой ошибки для каждого метода было произведено 36 циклов вычислений, а для находений комбинации из двух ошибок – 144 цикла.

МНГП рассматривался в сравнении с методом нормированных поправок и показал следующие результаты (рис.2).

На основании их анализа можно сделать вывод о том, что МНГП в случае малой величины закладываемой грубой ошибки более эффективен, чем способ нормированных поправок. МНГП был исследован и на возможность обнаружения двух ошибок, при



этом было найдено 70-73% комбинаций. Недостатком метода является то, что в некоторых случаях комбинацию ошибок невозможно обнаружить, а можно лишь свести к группе из  $n$  измерений. Достоинством одновременного поиска нескольких ошибок является ускорение процесса их обнаружения.

При исследовании МНМ выяснилось, что в случае одной грубой ошибки он обеспечивает 100%-ю эффективность её нахождения, однако, при наличии двух ошибок она падает до 56%.

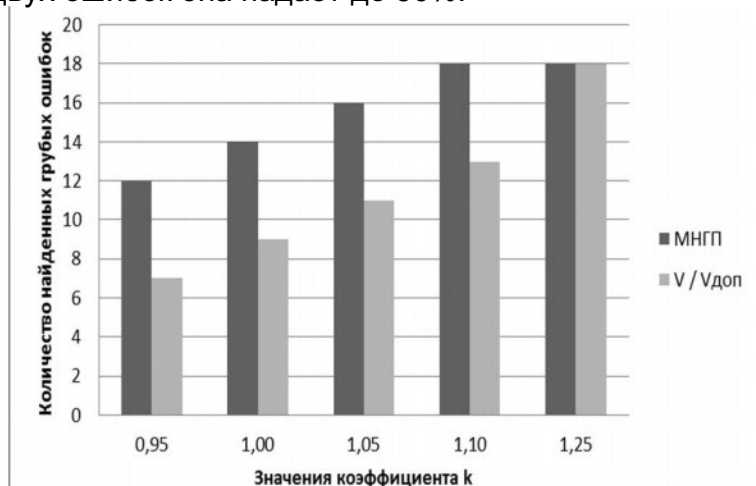


Рис.2. Сравнение МНГП и метода нормированных поправок в зависимости от величины грубой ошибки

Эффективность  $M$ -оценок определялась по двум критериям: СКО робастных оценок от несмещённых МНК  $\Delta h = \sqrt{\frac{h_{МНК} - h_{роб}}{n}}$  и проценту компенсации величины грубой ошибки поправкой:  $g = \left| \frac{V_{роб}}{\Delta_{\Gamma}} \right| \cdot 100\%$ . На диаграммах представлены сред-

ние значения данных критериев для случая поиска одной ошибки (рис.3-4).

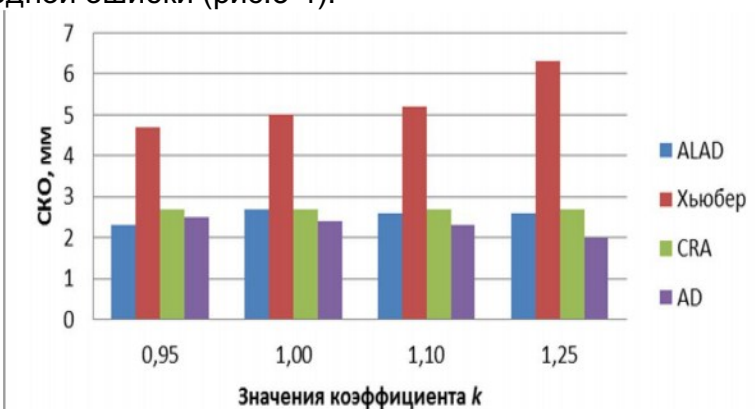


Рис.3. СКО робастных оценок от несмещённых МНК оценок

Наилучшим из рассмотренных методов является метод Эдуола, характерной особенностью которого является близость робастных оценок к несмещённым

МНК оценкам. Его достоинством является и то, что он устраняет влияние грубой ошибки почти на 90%. Наилучшие результаты при поиске комбинаций двух ошибок были получены с использованием «Правила альтернативы» (найдено порядка 80% комбинаций). Можно отметить и то, что  $M$ -оценки лучше приспособлены для нахождения комбинаций грубых ошибок, чем МНМ.

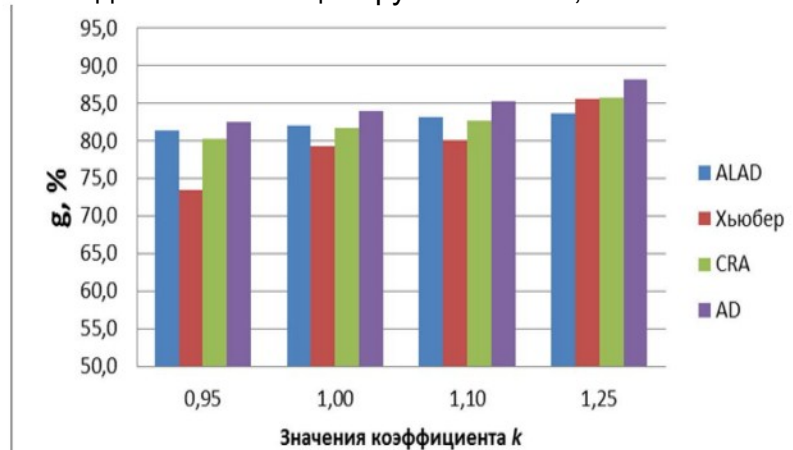


Рис.4. Процент компенсации грубой ошибки  $g\%$  поправкой

В заключение можно сделать вывод о том, что не существует универсального метода и каждый рассмотренный метод хорош для определенного случая поиска ошибок. Поэтому представляется перспективной разработка алгоритма комплексного поиска грубых ошибок, позволяющего сочетать достоинства перечисленных методов.

#### Литература

1. Авдюшев В.А. Метод наименьших модулей и его эффективность при обработке измерений с ошибками различного распределения / В.А. Авдюшев, А.Д. Мезенцева // Известия высших учебных заведения. Физика – 2012. - № 10/2. – с. 68-76.
2. Дьяков Б.Н. Поиск грубых ошибок измерений методом наложения графиков поправок / Б.Н. Дьяков, Ю.В. Родионова // ГеодезистЪ. - 2002. - № 4. - с. 22-24.
3. Зубов А.В. Точность и контролируемость измерений / Маркшейдерское дело и геодезия. С-Пб., изд. СПбГИ, 1997. с. 70-72.
4. Коугия В.А. Сравнение методов обнаружения и идентификации ошибок измерений // Геодезия и картография. – 1998. - №5. – с. 23-27.
5. Робастность в статистике. Подход на основе функция влияния: пер. с англ. / Хампель Ф. Рончетти Э., Рауссэу П., Штаэль В. – М.: Мир, 1989.
6. Хьюбер Дж. П. Робастность в статистике: пер. с англ. – М.: Мир, 1984.
7. Baarda W.A testing procedure for use in geodetic networks. // Netherlands Geodetic Commission. -1968. -V.2. -N. 5. - P. 28-35.
8. Mieczysław Kwaśniak. Effectiveness of chosen robust estimation methods compared to the level of network reliability // Geodesy and cartography. – 2011. - №1. – с. 3-19.

Екатерина Андреевна Красильникова, аспирантка строительного факультета, тел. (812) 328-84-13, E-mail: kraskat.01@yandex.ru;  
 Андрей Владимирович Зубов, канд.техн.наук, доцент кафедры Инженерной геодезии, тел. (812) 328-84-13, E-mail: zaw@spti.ru  
 (Национальный минерально-сырьевой университет «Горный» г.Санкт-Петербург)

УДК 550.311; 622.276

Ю.О.Кузьмин

## ОТНОСИТЕЛЬНЫЕ ДЕФОРМАЦИИ ИЗГИБА ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ И ОЦЕНКА ГЕОДИНАМИЧЕСКОЙ ОПАСНОСТИ ОБЪЕКТОВ

Рассмотрены и проанализированы нормативные документы, рассматривающие вопросы определения предельных деформаций, связанных с относительными неравномерными оседаниями земной поверхности. Получены формула для оценки относительных деформаций изгиба земной поверхности по результатам геодезических наблюдений и ее связь с формулами расчёта кривизны и радиуса кривизны. Показано, что в существующих нормативных документах приведена ошибочная формула оценки относительных деформаций прогиба (изгиба), которая в два раза занижает результаты расчетов. Предложена методика оценки геодинамической опасности объектов в зонах высоких скоростей относительных деформаций изгиба и представлен вариант ее реализации на примере объектов инфраструктуры Ромашкинского нефтяного месторождения.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** относительные деформации изгиба; геодинамическая опасность; прогиб и оседание земной поверхности; предельные деформации.

Yu. O. Kuz'min

## RELATIVE DEFORMATIONS OF THE BEND OF EARTH SURFACE AND ESTIMATION OF GEODYNAMIC DANGER OF OBJECTS

Normative documents considering questions of definition of the limit deformations connected with relative uneven subsidence of terrestrial surface are considered and analysed. The formula for estimation of relative deformations of a bend of terrestrial surface by results of geodetic supervision and its connection with formulas of calculation of curvature and radius of curvature are received. It is shown that the wrong formula of estimation of relative deformations of a deflection (bend) which underestimates results of calculations twice is given in the existing normative documents. Methodology of estimation of geodynamic danger of objects offers in the zones of high-rate of relative deformations of bend and the variant of its realization is presented on the example of objects of infrastructure of the Romashkinsky oilfield is presented.

**KEY WORDS:** relative deformations of the bend; geodynamic danger; deflection and subsidence of a terrestrial surface; limit deformations.

### Введение

Базовой процедурой при проведении оценки уровня геодинамической опасности любых объектов, расположенных на земной поверхности, включая объекты обустройства месторождений полезных ископаемых, нефтегазопроводов (магистральных и промысловых) и т.п., является сопоставление измеренных в результате геодинамического мониторинга деформаций земной поверхности с нормативно-допустимыми значениями. В случае, когда измеренный уровень деформаций участка земной поверхности сопоставим или превосходит нормативные значения, то данный участок является геодинамически опасным для объектов, расположенных в его пределах [2].

Как известно, непосредственно измеряемой величиной в напряженно-деформируемом состоянии любого объекта являются движения (деформации), а напряжения вычисляются по измеренным смещениям в соответствии с реологическими характеристиками деформируемой среды. Поэтому в нормативных документах, регламентирующих воздействия динамики геологической среды на объекты, в качестве порогового значения используется, как правило, величина, связанная с деформационным порогом разрушения конструкционного материала, -  $\varepsilon_n$ . Это вполне естественно, так как данные об уровне современного геодинамического состояния получают на основе измерений вертикальных и горизонтальных смещений земной поверхности и их производных (наклонов и относительных деформаций).  $\varepsilon_n$  - это безразмерная вели-

чина, характеризующая относительную деформацию. В этом случае значение  $\varepsilon_n$  практически не зависит (в случае однородной деформации) от масштаба измерений.

Однако, если речь идет о воздействии на объект современных аномальных геодинамических процессов в разломных зонах, то деформационное поле будет в существенной мере контрастно-неоднородным. В этом случае обязательным элементом сравнения наблюдаемых и нормативных величин становится четкое определение величины относительных деформаций в зависимости от типа деформирования (изгиб, сдвиг, деформации сжатия и растяжения и т.д.).

В подавляющем большинстве нормативных документов используются такие параметры деформационного процесса, как относительные деформации сжатия и растяжения, наклоны земной поверхности, радиус кривизны, относительная неравномерность осадок, крен и т.д. Зачастую эти понятия являются синонимами, отражая специфику отраслевой терминологии. Так, например, наклон формально подобен крену, мульда оседания (сдвижения) – прогибу и т.п. В СП 22.13330.2011 «Основания зданий и сооружений. Актуализированная редакция СНиП 2.02.01-83\*» даны следующие определения:

**осадки** - деформации, происходящие в результате уплотнения грунта под воздействием внешних нагрузок и в отдельных случаях собственного веса грунта, не сопровождающиеся коренным изменением его структуры;

**просадки** - деформации, происходящие в ре-

зультате уплотнения и, как правило, коренного изменения структуры грунта под воздействием как внешних нагрузок и собственного веса грунта, так и дополнительных факторов, таких, как, например, замачивание просадочного грунта, оттаивание ледовых прослоек в замерзшем грунте и т. п.;

**подъемы и осадки** - деформации, связанные с изменением объема некоторых грунтов при изменении их влажности или воздействии химических веществ (набухание и усадка) и при замерзании воды и оттаивании льда в порах грунта (морозное пучение и оттаивание грунта);

**оседания** - деформации земной поверхности, вызываемые разработкой полезных ископаемых, изменением гидрогеологических условий, понижением уровня подземных вод, карстово-суффозионными процессами и т.п.

Естественно, что по форме проявления вертикальных смещений земной поверхности все 4 типа деформационного процесса сводятся к изгибу (положительному или отрицательному) земной поверхности.

Вместе с тем, проведение инженерных расчетов, определяющих допустимые и предельные уровни деформаций при проектировании и строительстве сооружений, основаны на применении методов механики деформирования твердого тела и сопротивления материалов.

Как известно, в базовых учебниках для Высших технических заведений по сопротивлению материалов и механике деформируемого твердого тела (см., например, [3, 13]) даны всего 4 элементарных (простых) типа деформаций: 1) растяжение - сжатие; 2) сдвиг (срез); 3) кручение; 4) изгиб.

Именно поэтому при определении предельных и/или допустимых деформаций используются именно эти элементарные типы деформаций, поскольку они полностью соответствуют базовым схемам экспериментальных испытаний конструкционных материалов.

Результаты исследований современных геодинамических процессов, проведенных в различных регионах Земли, показали, что наиболее интенсивной (экстремальной) формой их проявления являются деформации земной поверхности природного и/или техногенного происхождения, сосредоточенные в окрестности разломных зон [6, 7, 8, 17].

Кинематический тип аномальных движений в зонах разломов представлен сдвигами вертикальной и горизонтальной ориентации и изгибами (региональными и локальными). Надежно установлено, что современные вертикальные движения земной поверхности в зонах разломов, полученные по результатам многократных повторных наблюдений, существенно превосходят горизонтальные. Этот факт имеет естественное физическое объяснение, поскольку горизонтальные смещения происходят в стесненных условиях. Вертикальные смещения происходят на свободной от напряжений земной поверхности, что существенно усиливает их амплитуду.

В результате анализа большого массива данных были выявлены интенсивные локальные аномалии

современных вертикальных движений земной поверхности, приуроченные к зонам разломов. *Эти аномальные движения высокоамплитудны (50-70 мм/год), короткопериодичны (0,1-1 года), пространственно локализованы (0,1-1 км), обладают пульсационной и знакопеременной направленностью. Среднегодовые скорости относительных деформаций у них крайне высоки ( $2-7 \cdot 10^{-5}$ /год) и поэтому их определяют как суперинтенсивные деформации (СД) земной поверхности в зонах разломов [6].* Учитывая, что столь высокая скорость относительных деформаций способна за период эксплуатации объектов обеспечить накопление предельно допустимого уровня, такие разломы получили название **опасных** [9, 10].

Согласно классификации элементарных типов деформаций СД – аномалии представляют собой локальные изгибы земной поверхности в окрестности разломной зоны. Для того, чтобы оценивать геодинамическую опасность объектов, расположенных в разломной зоне, необходимо сравнить **относительные** деформации изгиба с допустимыми и предельными величинами, регламентированными в нормативных документах. Однако, в существующих теориях изгиба стержней, пластин и оболочек отсутствуют формулы для расчета относительных деформаций. Как правило, даются выражения, связывающие максимальную амплитуду изгиба или относительные горизонтальные деформации сжатия и растяжения с приложенными силами или моментами в зависимости от типа изгиба (продольный или поперечный). Формулы для оценки относительной деформации изгиба, которая бы связывала амплитуду изгиба, с его горизонтальным размером в этих теориях отсутствуют [3, 13].

В этой связи, ниже приведен дидактически подробный вывод формулы для расчета относительных деформаций изгиба поверхности, адаптированной для геодезических наблюдений, показана ее связь с параметрами кривизны и радиуса кривизны земной поверхности и предложен подход для оценки геодинамической опасности объектов, расположенных в зонах активных разломов.

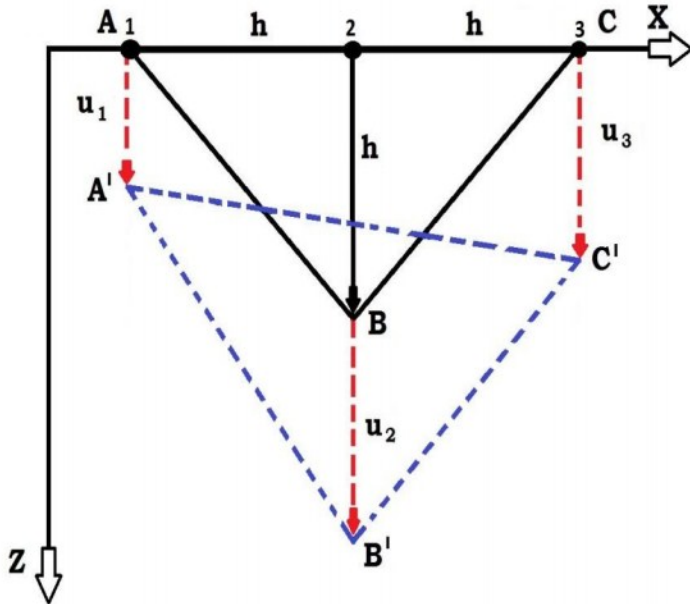
### Вывод формулы для расчета относительных деформаций земной поверхности

Для вывода формулы используется тот факт, что наблюдаемыми величинами, в данном случае, являются амплитуда изгиба и его ширина. При этом, имеется ввиду, что наиболее естественным образом изгиб можно измерить с помощью трех реперов, когда средний репер испытывает максимальное вертикальное смещение, а расстояние между двумя крайними равно ширине изгиба.

Пусть на земной поверхности имеется симметричный изгиб вниз с амплитудой  $h$ , который измерен путем нивелирования по трем реперам №1, №2 и №3 (рис.1). Этот случай соответствует типичному проявления СД - аномалий типа  $\gamma$ , который в подавляющем большинстве случаев морфологически выражен, как симметричный пикообразный изгиб земной поверхности вниз.



## ПРОБЛЕМЫ ГОРНОЙ ГЕОМЕХАНИКИ



**Рис. 1. Геометрическое представление формирования деформации изгиба**

Геометрическую форму этого изгиба можно представить в виде равнобедренного треугольника ABC, в котором высота равна  $h$  (рис.1). В этом случае расстояние между смежными реперами будет равно:

$$x_2 - x_1 = x_3 - x_2 = h. \quad (1)$$

Координаты вершин этого треугольника A, B и C будут следующими:

$$A(x_2 - h, z_1); B(x_2, z_2 - h); C(x_2 + h, z_3).$$

Если в случае вертикальных движений каждая вершина треугольника изменится на величины:  $U_1; U_2; U_3$ , то можно рассчитать относительную деформацию, обусловленную этими смещениями. Пусть  $S_1$  - площадь треугольника ABC в начальный момент времени, а  $S_2$  - площадь деформированного треугольника A'B'C'.

Тогда относительные изменения площади, которая в геометрической теории деформаций [15] именуется дилатацией  $\Theta$ , будет записано как:

$$\Theta = \frac{S_2 - S_1}{S_1}. \quad (2)$$

Площадь начального треугольника  $S_1$ , как следует из основ аналитической геометрии [1], будет иметь следующее выражение:

$$S_1 = \frac{1}{2} [z_1(x_2 - x_3) + z_2(x_3 - x_1) + z_3(x_1 - x_2)], \quad (3)$$

где  $x_1; x_2; x_3$  и  $z_1; z_2; z_3$  - координаты вершин треугольника ABC в направлении координатных осей  $x$  и  $z$ , соответственно.

Тогда, площадь  $S_2$  треугольника A'B'C', учитывая, что:  $z'_1 = z_1 + u_1; z'_2 = z_2 + u_2; z'_3 = z_3 + u_3$  есть «измененные» координаты вершин после деформации, будет записана, как:

$$S_2 = \frac{1}{2} \{ (z_1 + u_1)(x_2 - x_3) + (z_2 + u_2)(x_3 - x_1) + (z_3 + u_3)(x_1 - x_2) \}. \quad (4)$$

Используя формулу (2) можно записать выражение для  $\Theta$ :

$$\Theta = \frac{S_2 - S_1}{S_1} = \frac{u_1(x_3 - x_2) + u_2(x_1 - x_3) + u_3(x_2 - x_1)}{z_1(x_3 - x_2) + z_2(x_1 - x_3) + z_3(x_2 - x_1)}. \quad (5)$$

Возвращаясь к рис.1, можно записать слагаемые в формуле (5) в виде следующей цепочки очевидных формул:

$$\begin{aligned} u_1 \cdot (x_3 - x_2) &= u_1 \cdot h; \\ u_2 \cdot (x_1 - x_3) &= -u_2 \cdot 2h; \\ u_3 \cdot (x_2 - x_1) &= u_3 \cdot h; \\ z_1 \cdot (x_3 - x_2) &= 0, \text{ т.к. } z_1 = 0; \\ z_2 \cdot (x_1 - x_3) &= h \cdot (-2h) = -2h^2; \\ z_3 \cdot (x_2 - x_1) &= 0, \text{ т.к. } z_3 = 0. \end{aligned}$$

Эти выражения получаются при подставлении координат вершин треугольника ABC в формулу (5).

В этом случае формула для определения  $\Theta$  будет равна:

$$\Theta = \frac{u_1 \cdot h - u_2 \cdot 2h + u_3 \cdot h}{-2h^2}. \quad (6)$$

Используя обычную схему нивелирования, когда вычисляются превышения от последующего репера к предыдущему, можно переписать формулу (6) следующим образом:

$$\Theta = \frac{(u_1 - u_2) + (u_3 - u_2)}{-2h} = \frac{1}{2} \frac{(u_2 - u_1) - (u_3 - u_2)}{h}. \quad (7)$$

Чтобы ввести в формулу (7) расстояния между реперами  $x_2 - x_1$  и  $x_3 - x_2$  можно записать следующие очевидные соотношения, учитывая, что  $(x_2 - x_1) = (x_3 - x_2) = h$ , для  $(u_2 - u_1)$  и  $(u_3 - u_2)$  получается:

$$u_2 - u_1 = \frac{(u_2 - u_1) \cdot h}{x_2 - x_1}; \quad u_3 - u_2 = \frac{(u_3 - u_2) \cdot h}{x_3 - x_2}.$$

Подставляя эти соотношения в (7), окончательно получается:

$$\Theta = \frac{1}{2} \left( \frac{u_2 - u_1}{x_2 - x_1} - \frac{u_3 - u_2}{x_3 - x_2} \right). \quad (8)$$

Из полученной формулы следует однозначная физическая трактовка изгиба поверхности. Как известно из механики деформируемых сред [13], напряженно-деформированное состояние можно характеризовать силовым (теория напряжений), геометрическим (теория деформаций) и реологическим (связь напряжений и деформаций для различных типов сред) образом. Результаты геодезических наблюдений смещения закрепленных точек на земной поверхности и оснований зданий и сооружений естественным образом описываются с помощью геометрической теории деформаций, которая не связана с реологическими свойствами среды (упругими, пластическими, вязкими и т.п.). С этих позиций изгиб – это со-

вокупности двух противоположно направленных наклонов поверхности, что и подчеркивается знаком «минус» в формуле (8).

Следует отметить, что в [5] методом конечных элементов была получена формула для плоской дилатации, аналогичная по структуре формуле (8). Однако в этой работе изгиб поверхности рассматривался как абстрактный геометрический объект кусочно-линейной аппроксимации тензорного поля смещений.

Если теперь ввести привычные для геодезии обозначения для превышений:  $u_2 - u_1 = \Delta h_1$  – превышение между двумя реперами в первой секции;  $u_3 - u_2 = \Delta h_2$  – превышение между двумя реперами во второй секции, а расстояния между реперами записать, как:  $x_2 - x_1 = l_1$ ;  $x_3 - x_2 = l_2$ , то формула (8) примет окончательный вид:

$$\Theta = \frac{1}{2} \left( \frac{\Delta h_1}{l_1} - \frac{\Delta h_2}{l_2} \right). \quad (9)$$

Формула (9) позволяет вычислять относительную деформацию изгиба и в случае асимметричной кривой, т.к. длины секций  $l_1$  и  $l_2$  не равны друг другу. Если же изгиб имеет симметричную форму, то:  $\Delta h_1 = -\Delta h_2 = \Delta h$ ;  $l_1 = l_2$ , а  $l_1 + l_2 = L$ , где:  $L$  – ширина изгиба. Тогда формула для оценки относительной деформации симметричного изгиба будет следующей:

$$\Theta = \frac{2\Delta h}{L}. \quad (10)$$

Из формулы (10) следует принципиально важный вывод. Традиционно относительную деформацию оценивают делением амплитуды аномального вертикального смещения земной поверхности на ширину аномалии, т.е. определяется горизонтальный градиент вертикальных смещений, т.е.  $\Delta h/L$ . В этом случае, нет никакой разницы в численном выражении между однородным наклоном и локальным изгибом земной поверхности. Сравнение методики расчета относительных деформаций методом градиента вертикальных смещений с предложенной по формуле (10) показывает, что традиционный метод расчета, как минимум, в 2 раза занижает величину относительной деформации.

Единственный нормативный документ, который удалось обнаружить автору и в котором рассматривается количественная оценка относительных деформаций изгиба – это СП 22.13330.2011 «Основания зданий и сооружений. Актуализированная редакция СНиП 2.02.01-83\*». В нем дана формула расчета относительной деформации прогиба и выгиба, которые следует определять по результатам наблюдений. С позиций теории деформаций прогиб и выгиб полностью аналогичны изгибу вниз или вверх. Формула относительного прогиба имеет следующий вид (в обозначениях этого документа):

$$\frac{f}{L} = \frac{2S_2 - S_1 - S_3}{2L}, \quad (11)$$

где  $f$  – стрела прогиба (амплитуда  $s_2$ );  $s_1$ ,  $s_2$ ,  $s_3$  – амплитуды вертикальных смещений левой, центральной и правой точек прогиба, соответственно;  $L$  – расстоя-

ние между крайними точками прогиба (ширина прогиба). Формулу (11) можно преобразовать следующим образом:

$$\frac{f}{L} = \frac{(S_2 - S_1) - (S_3 - S_2)}{2L}. \quad (12)$$

Если ввести привычные для геодезии обозначения для вертикальных смещений, то формулу (12) для оценки относительного прогиба (изгиба) можно записать в следующем виде:

$$\frac{f}{L} = \frac{(\Delta h_1 - \Delta h_2)}{2L}. \quad (13)$$

В случае симметричного прогиба (изгиба) формула (13) приобретает следующий вид:

$$\frac{f}{L} = \frac{\Delta h}{L}. \quad (14)$$

Сравнение формулы (14) с формулой (10) показывает, что оценка по формуле, предложенной в СП 22.13330.2011 «Основания зданий и сооружений. Актуализированная редакция СНиП 2.02.01-83\*» в 2 раза занижает значение относительной деформации прогиба (изгиба). Ошибка заключается в том, что авторы СП не учитывают изначально, что расстояние между крайними точками и центральной не обязательно должны быть равными. Они используют среднее значение двух разностей осадок по всей ширине прогиба, что и приводит к появлению двойки в знаменателе формулы (11). Естественно, что подобная погрешность существенно снижает объективную оценку геодинамической опасности в случае локальных изгибов земной поверхности в разломных зонах.

#### Связь относительных деформаций изгиба и кривизны земной поверхности

В ряде нормативных документов используется понятие кривизны и радиуса кривизны земной поверхности. Как показано в известном учебном пособии для горных инженеров маркшейдеров [12], средняя кривизна земной поверхности на границе интервалов между точками (реперами) 1-2 и 2-3 описывается следующей формулой:

$$K_{1-2-3} = \frac{i_{2-3} - i_{1-2}}{2(l_{1-2} + l_{2-3})} \cdot \frac{1}{M} \cdot 10^{-3}, \quad (15)$$

где  $i_{1-2} = \frac{\eta_2 - \eta_1}{l_{1-2}}$ ;  $i_{2-3} = \frac{\eta_3 - \eta_2}{l_{2-3}}$  – наклоны земной

поверхности между точками (реперами) 1-2 и 2-3;  $l_{1-2}$ ,  $l_{2-3}$  – расстояние между точками (реперами) 1-2 и 2-3.

Для связи относительной деформации изгиба и кривизны поверхности можно рассмотреть случай симметричного изгиба (кривизны). Тогда формула (15) преобразуется следующим образом:

$$K_{1-2-3} = \frac{4i}{L} \cdot \frac{1}{M} \cdot 10^{-3}, \quad (16)$$

где  $i_{1-2} = -i_{2-3}$ , поскольку наклоны имеют противополо-

## ПРОБЛЕМЫ ГОРНОЙ ГЕОМЕХАНИКИ

ложные знаки при изгибе;  $L=l_{1-2}+l_{2-3}$  - ширина участка поверхности, испытывающего кривизну.

Если использовать обозначения данные выше, то формула для относительного изгиба (10) будет следующей:

$$\theta=2i. \quad (17)$$

Подставляя (17) в (16), получается формула связи кривизны поверхности с ее изгибом:

$$K_{1-2-3}=\frac{2\theta}{L} \cdot \frac{1}{M} \cdot 10^{-3}, \quad (18)$$

Соответственно, радиус кривизны R определяется следующим образом:

$$R=\frac{1}{K}=\frac{L}{2\theta}, \text{ м} \cdot 10^3. \quad (19)$$

### Оценка геодинамической опасности объектов в зонах проявления деформации изгиба

Как отмечалось выше, основным критерием, определяющим геодинамическую опасность объектов, является соизмеримость или превышение наблюдаемых значений относительных деформаций земной поверхности предельных значений деформаций, регламентированных нормативными документами.

Ниже представлена методика оценки геодинамической опасности объектов, которые расположены в зонах проявления интенсивных деформаций изгиба. Принципиально важно отметить, что в нормативных документах оба типа вертикальной составляющей деформаций земной поверхности, которая воздействует на объекты (наклон (крен) и изгиб (прогиб, оседание)), с точки зрения нормативных документов относятся к относительной разности осадок. Различие возникает при использовании предельных и допустимых значений для конкретных типов сооружений.

Так, например, согласно СП 22. 13330.2011 «Основания зданий и сооружений. Актуализированная редакция СНиП 2.02. 01- 83\*» относительная разность осадок конкретизируется предельными величинами прогиба и выгиба, т.е. изгиба (положительного или отрицательного) для многоэтажных бескаркасных зданий с несущими стенами из: а) крупных панелей – 0,0008; б) крупных блоков или кирпичной кладки без армирования - 0,001; в) то же, с армированием, в том числе с устройством железобетонных поясов или монолитных перекрытий, а также здания монолитной конструкции- 0,0012.

В документе «Методические указания по организации и проведению наблюдений за осадкой фундаментов и деформациями зданий и сооружений строящихся и эксплуатируемых тепловых электростанций, СО 153-34.21.322-2003», утвержденном Приказом Министерства энергетики Российской Федерации от 30 июня 2003 г. №283, даны предельные относительные прогибы и выгибы (изгибы) для многоэтажных бескаркасных зданий с несущими стенами из: а) крупных панелей - 0,0007; б) крупных блоков и кирпичной кладки без армирования - 0,001; в) крупных блоков и кирпичной кладки с армированием или железобетонными поясами - 0,0012.

В [2] предложен способ оценки геодинамической опасности сооружений, который основывается на естественном условии, что накопленные, за период эксплуатации объекта, деформации изгиба (например, в зонах активных разломов) должны быть меньше предельных значений. Это условие может быть сформулировано в виде следующего неравенства:

$$\dot{\theta} < \frac{\varepsilon_n}{T}, \quad (20)$$

где  $\dot{\theta}$  – среднегодовая скорость изгиба;  $\varepsilon_n$  – предельная деформация изгиба, регламентированная нормативными документами; T – длительность эксплуатации объекта.

Из формулы (20) можно определить те значения скорости деформаций, которые соответствуют приведенным выше нормативным документам. Если оперировать типичными значениями предельных изгибов на уровне 0.001, длительностью эксплуатации объектов в 50 лет, то окажется, что относительные среднегодовые скорости деформаций изгиба будут иметь значения, не превышающие  $2-3 \cdot 10^{-5}$  в год. Если же учесть, что аномалии деформаций носят пульсационный характер, то согласно подходу, изложенному в [7], необходимо использовать не представления о монотонном накоплении деформаций, а использовать скорости, накопленные только в период существования аномалий. В этом случае в формуле (20) появляется коэффициент C, который учитывает пульсационный характер протекания аномальных деформаций. В этом случае, формула (20) будет иметь следующий вид:

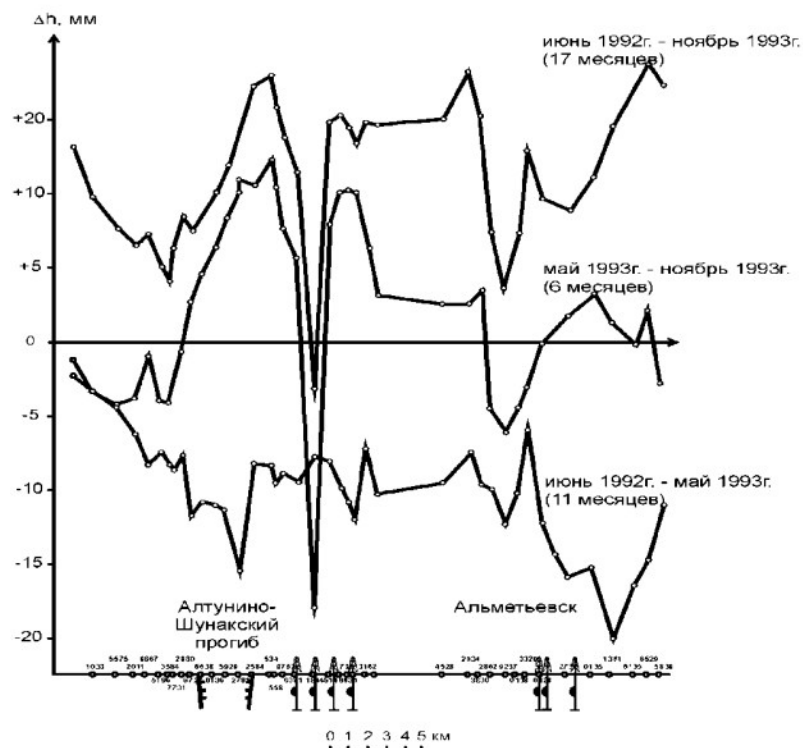
$$\dot{\theta} < \frac{C \cdot \varepsilon_n}{T}, \quad (21)$$

где C – эмпирический коэффициент, который по результатам многочисленных, длительных, повторных геодезических наблюдений колеблется в диапазоне 3-5. В таком случае, предельные среднегодовые скорости относительных деформаций изгиба не должны превышать значения порядка  $5 \cdot 10^{-5} - 10^{-4}$  в год.

Как отмечено выше, в зонах разломов среднегодовые скорости относительных деформаций достигают величин  $(5-7) \cdot 10^{-5}$  в год, что переводит эти разломы из категории **активных** в категорию **опасных**.

Для примера, на рис.2 представлены результаты повторных нивелирных наблюдений на геодинамическом полигоне, организованном в пределах Ромашкинского месторождения нефти.

Из рисунка видно, что в местах проявления локальных изгибов земной поверхности (СД-деформации) в зонах разломов со среднегодовыми скоростями относительных деформаций порядка  $6 \cdot 10^{-5}$  в год зафиксированы необратимые искривления стволов скважин, что свидетельствует в пользу справедливости оценки геодинамической опасности по формуле (21). Именно этот подход был положен в основу создания карты геодинамической опасности недр Юго-Востока Татарстана [16].



**Рис. 2.** Пример проявления аномальных, локальных деформаций изгиба, выявленных по результатам повторного нивелирования на Ромашкинском нефтяном месторождении. В нижней части показаны аварийные скважины, на которых отмечены необратимые искривления стволов

### Заключение

Проведенные исследования позволяют сделать следующие основные выводы.

1. Получена формула для оценки относительных деформаций изгиба и показана ее связь с типовыми для маркшейдерии формулами для расчета кривизны и радиуса кривизны.

2. Обнаружено, что формула относительного прогиба (выгиба), которая приведена в ряде нормативных документов, ошибочна и занижает истинные значения в два раза.

3. Предложена методика оценки геодинамической опасности объектов, расположенных в зонах активных разломов, характеризующихся аномально высокими скоростями относительных деформаций изгиба, и приведен пример ее реализации для объектов обустройства Ромашкинского нефтяного месторождения.

### Литература

1. Бахвалов С. В., Бабушкин Л. И., Иваницкая В. П. Аналитическая геометрия. Учебник для вузов. Под ред. С. В. Бахвалова. Издание 4. М.: «Просвещение». 1970. 375 с.
2. Бедеров А.А., Кузьмин Ю.О., Шумейко М.В. Способ идентификации зон геодинамической опасности сооружений / Патент РФ № 2467359. 2012. 7 с.
3. Беляев Н. М. Сопротивление материалов. Учебник для вузов. М.: «Наука». 1976. 608 с.
4. Геологический словарь. В трех томах. Издание третье, перераб. и доп. / Т. 1. А-И. СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ. 2010. 432 с.
5. Есиков Н.П. Кусочно-линейное аппроксимирование тензорных полей деформаций. // Геология и геофизика. 1979. №3. С. 3-12.
6. Кузьмин Ю.О., Современные суперинтенсивные деформации земной поверхности в зонах платформенных разломов. // Науч.-техн. сб. «Геологическое изучение и использование недр». Вып. №4. «Геоинформмарк». М.: 1996. С.43-53.
7. Кузьмин Ю.О. Современная геодинамика и оценка геодинамического риска при недропользовании // М.: Агентство Экономических Новостей. 1999. 220 с.
8. Кузьмин Ю.О. Современная геодинамика разломных зон // Физика Земли. 2004. №10. С. 95 - 112.
9. Кузьмин Ю.О. Геодинамический риск объектов нефтегазового комплекса // Российская Газовая Энциклопедия. М.: Большая Российская Энциклопедия. 2004. С. 121-124.
10. Кузьмин Ю.О. Опасные разлома и прогнозирование чрезвычайных ситуаций // В кн. Проблемы прогнозирования чрезвычайных ситуаций. М.: «МЧС-инвест», 2005. С.153-164.
11. Кузьмин Ю.О. Актуальные проблемы идентификации результатов наблюдений в современной геодинамике. // Физика Земли. 2014. №5. С. 51 - 64.
12. Орлов Г. В. Сдвигение горных пород и земной поверхности под влиянием подземной разработки. Учебное пособие для студентов специальности «Маркшейдерское дело». М.: Изд-во «Горная книга». Изд-во МГТУ. 2010. 198 с.
13. Работнов Ю.Н. Механика деформируемого твердого тела. Учебное пособие для вузов. М. «Наука». 1979. 743 с.
14. Тимошенко С. П., Войновский - Кригер С. Пластинки и оболочки. М.: «Наука». 1966. 635 с.
15. Филоненко-Бородич М. М. Теория упругости. Учебник для вузов. М.: Гос. изд-во физико-математической литературы. 1959. 364 с.
16. Хисамов Р.С, Гатиятуллин Н.С., Кузьмин Ю.О. и др. (Под редакцией Хисамова Р.С, и Кузьмина Ю.О.). Современная геодинамика и сейсмичность Юго-Востока Татарстана. Казань: «Фэн». 2012. 240 с.
17. Kuzmin Yu. O. Recent geodynamics of a fault system / Physics of the Solid Earth, 2015, Vol. 51, No. 4, pp. 480-485.

Юрий Олегович Кузьмин, д-р физ.-мат. наук, профессор, Исполнительный директор Института Физики Земли им. О.Ю.Шмидта РАН по направлению «Геодинамическая безопасность объектов ТЭК», профессор кафедры «Маркшейдерское дело и геодезия» ГИ НИТУ МИСИС, E-mail: kuzpnex@gmail.com



УДК 622.267.3

С.В.Кузьмин

## СПОСОБ БОРЬБЫ С ПУЧЕНИЕМ ПОРОД ПОЧВЫ В ГОРНЫХ ВЫРАБОТКАХ С ПОМОЩЬЮ РАЗГРУЗОЧНОЙ ПОЛОСТИ

Представлены результаты моделирования на эквивалентных материалах способа борьбы с пучением пород почвы в горных выработках с помощью разгрузочной полости – щели. Представлена качественная и количественная картина разрушения пород почвы. Установлена качественная оценка влияния разгрузочной щели на уменьшение пучения почвы в присечной выработке.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** разгрузочная полость; щель; эквивалентные материалы; способ борьбы с пучением; разгрузка области массива; пучение пород почвы; присечная выработка.

S.V.Kuz'min

## METHOD OF FIGHT AGAINST TROUBLING OF BREEDS OF SOIL IN EXCAVATIONS BY MEANS OF UNLOADING CAVITY

The results of design on equivalent materials of method of fight against troubling of breeds of soil are presented in excavations by means of unloading cavity - crack. The quality and quantitative picture of destruction of breeds of soil is presented. The quality estimation of influence of unloading crack is set on reduction of troubling of soil in excavations.

**KEY WORDS:** unloading cavity; crack; equivalent materials; method of fight against troubling; unloading of area of array; troubling of breeds of soil; excavations.



Наиболее эффективным и доступным способом снижения пучения почвы в протяженных выработках является образование разгрузочных полостей – щелей, которые на определенный период снижают поле напряженного состояния в локальной области массива пород, а смещение их изменяется в направлении этих полостей [1-4].

На практике щели производят как горизонтальными, с подрезкой боковых стенок протяженных выработок, на уровне их почвы, так и вертикальными, вдоль оси выработки, в пределах ее ширины, а так же, в случае образования присечных выработок, при отработке пластов столбовыми системами, щели в почве прорезают в выработанном пространстве вдоль будущей выработки.

Проведение разгрузочных щелей, как известно, создает положительной эффект, однако не выявлена в достаточной степени физика процесса, нет ни качественных, ни количественных оценок влияния таких полостей на устойчивость выработок. Установление качественных характеристик этого явления и определило задачи исследований.

Экспериментальные исследования проводились в лабораторных условиях на моделях из эквивалентных материалов [5,6]. В качестве протяженной выработки исследовалась присечная выработка, образуемая позади отработываемой лавы с помощью, например, органной крепи определенной несущей способности. Щель в почве выработки создавалась на некотором удалении от крепи в выработанном пространстве вдоль ее оси.

Слоистый массив модели изготавливался из песчано-эпоксидной смолы горизонтальными слоями, каждый мощностью 1 см, прочность его на одноосное сжатие, по результатам испытаний образцов, изготавливаемых одновременно с закаткой модели, в среднем составляла 0,8 кг/см<sup>2</sup>.

Блок моделируемого массива почвы выработки имел размеры: по длине - 40 см, высота - 12 см, ширина - 10 см.

В качестве органной крепи, использовалась рычажная система, с постоянным отпором, который в масштабе моделирования 1:25, применительно к натурным условиям, составлял 25 тонн/пог. метр.

На лицевой стороне модели располагались 4 ряда марок, наблюдения за перемещением, которых производились в вертикальном и горизонтальном направлениях с помощью замеров миллиметровой линейкой (рис.1), а наблюдения за пучением почвы в выработке (точка I), под органной крепью (точка II) и в выработанном пространстве (точка III) осуществлялись посредством индикаторов часового типа.

Первый ряд марок в почве выработки закладывался на расстоянии 1 см, что в масштабе моделирования 1:25 для натуральных условий составляет 25 см. Второй - на расстоянии 50 см от почвы, третий - 1 м и четвертый - на удалении 1,75 м от подошвы выработки.

Давление на имитируемые породы почвы создавалось через жесткий штамп, выполняющий роль краевой части пласта.

Модель в сборе размещалась в жестком прессе, где наблюдения за нагрузками на нее записывались самописцем на протягиваемой ленте.

Нагружение моделей производилось ступенями. Последующие нагружения осуществлялись после стабилизации деформации предыдущей ступени. Эксперимент заканчивался при полном разрушении массива на участке пучащей почвы выработки.

С целью получения сравнительных результатов, эксперименты проводились на двух совершенно одинаковых моделях. Первая модель – без щели, вторая – со щелью клиновидной формы (конусом вниз), шириной верхней части для условий природы равной 70-80 см и глубиной до 1 м. Щель удалена от органной крепи на расстояние примерно 70 см. Форма щели выбрана такой, какая образуется врубом при использовании буровзрывных работ в шахтных условиях, как экономически и технически наиболее целесообразной при ее создании.

Результаты наблюдений за перемещением марок на конечной стадии эксперимента представлены на рис.2 и 3, а пучение почвы, фиксируемое в характерных точках с помощью индикатора - на рис.4 и 5.

# ПРОБЛЕМЫ ГОРНОЙ ГЕОМЕХАНИКИ

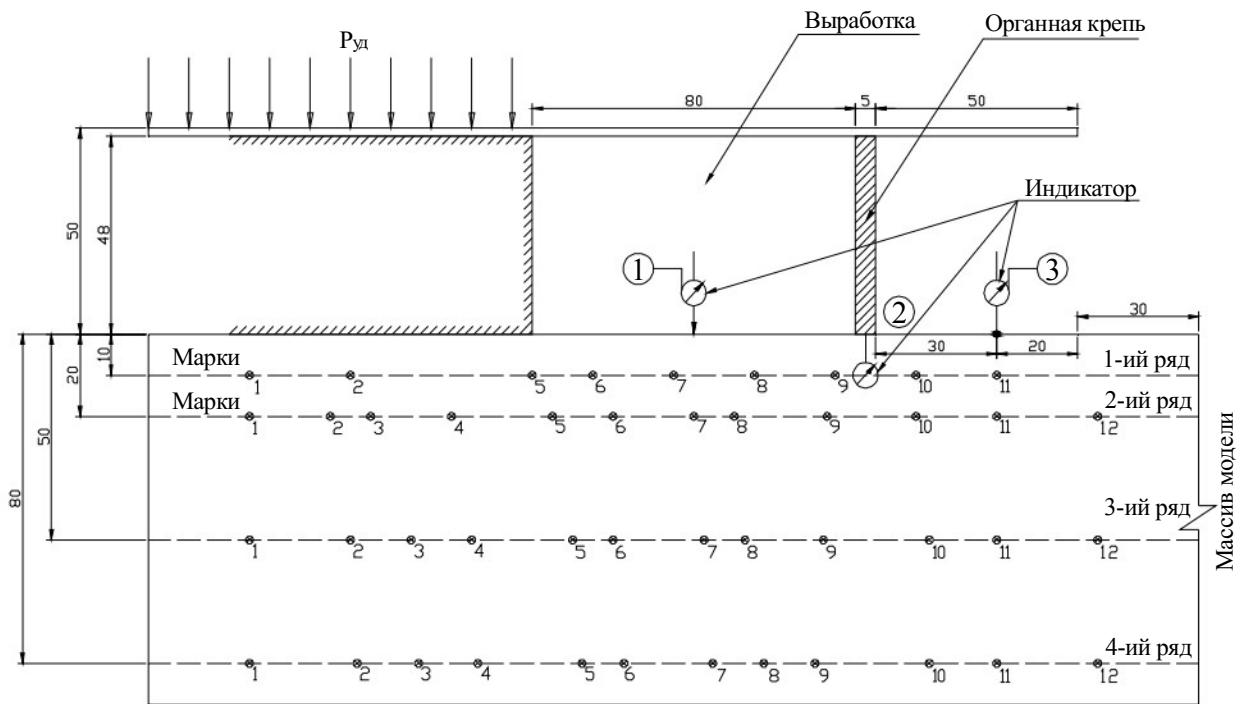


Рис.1. Схема проведения эксперимента

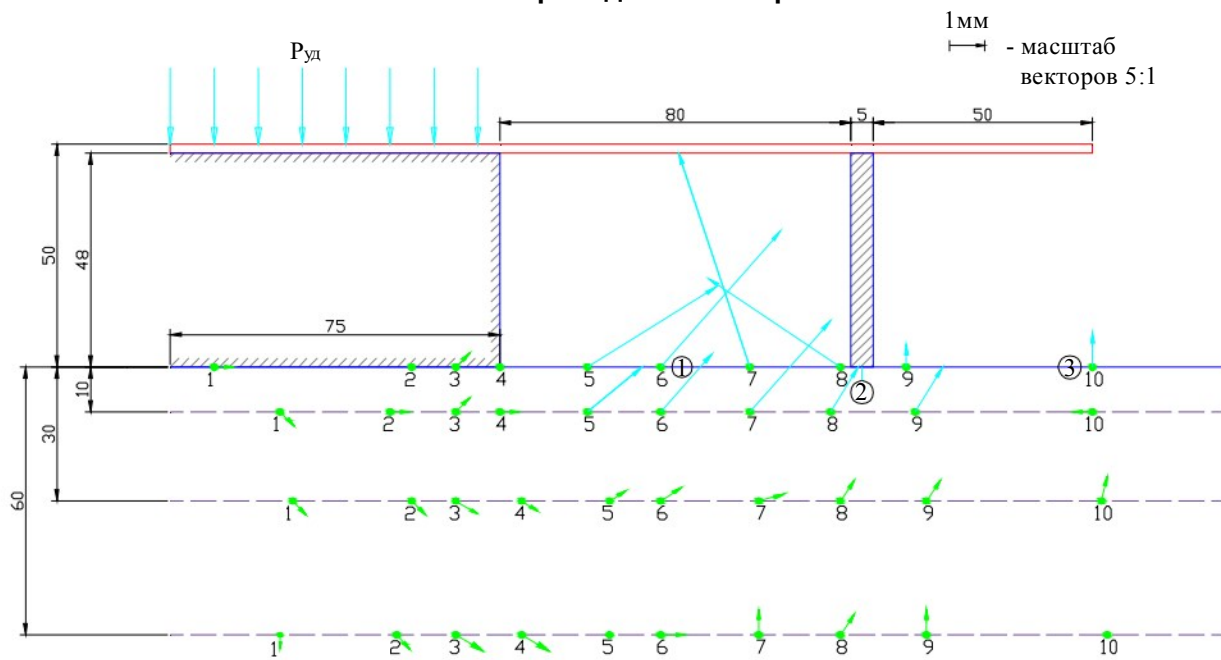


Рис.2. Результаты наблюдений за перемещением марок на конечной стадии эксперимента без разгрузочной полости

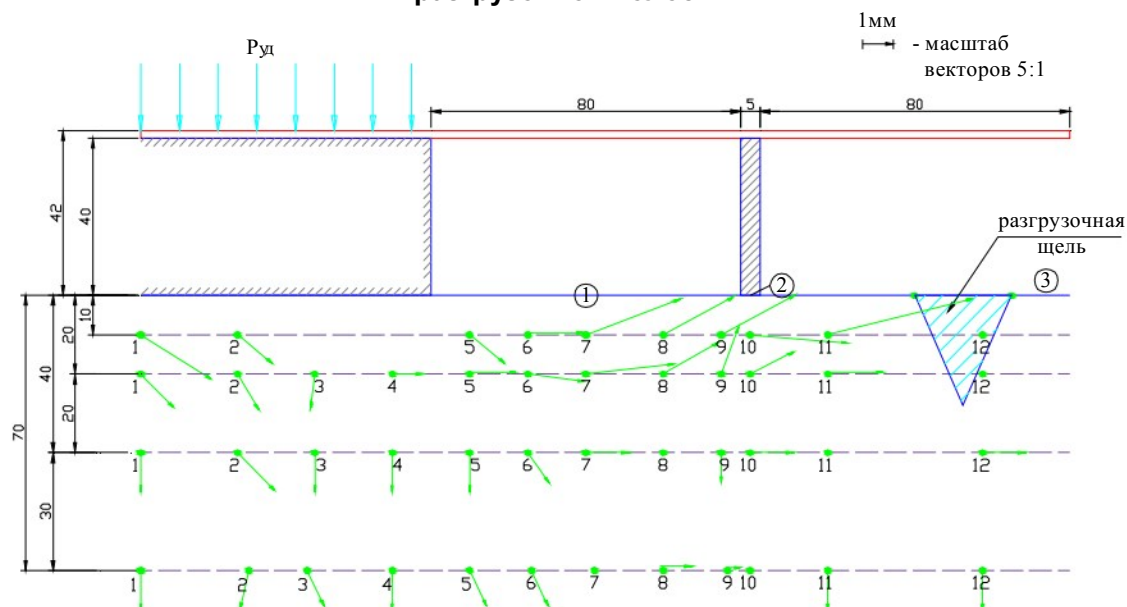
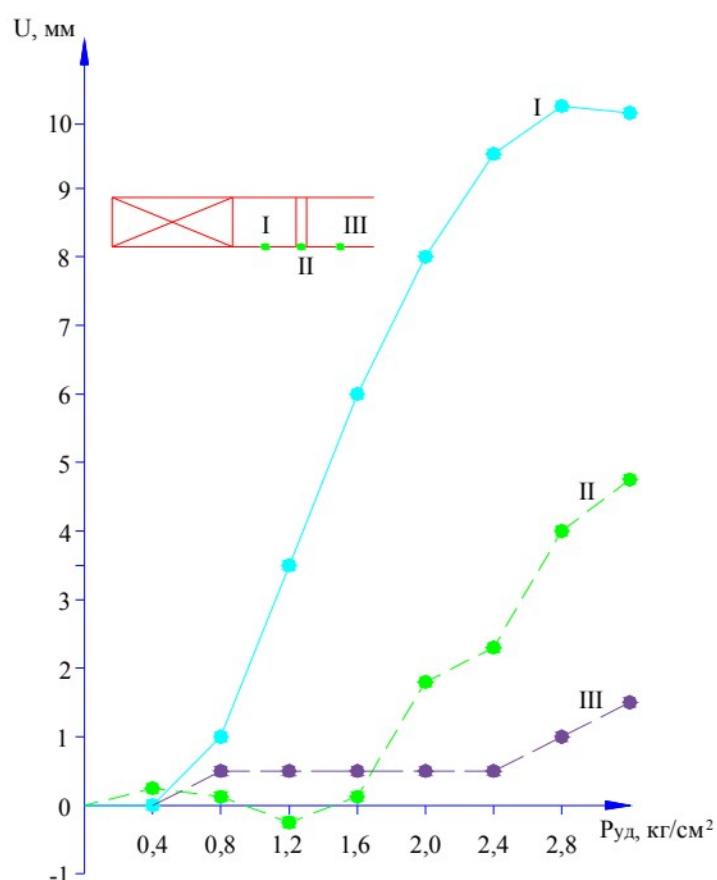


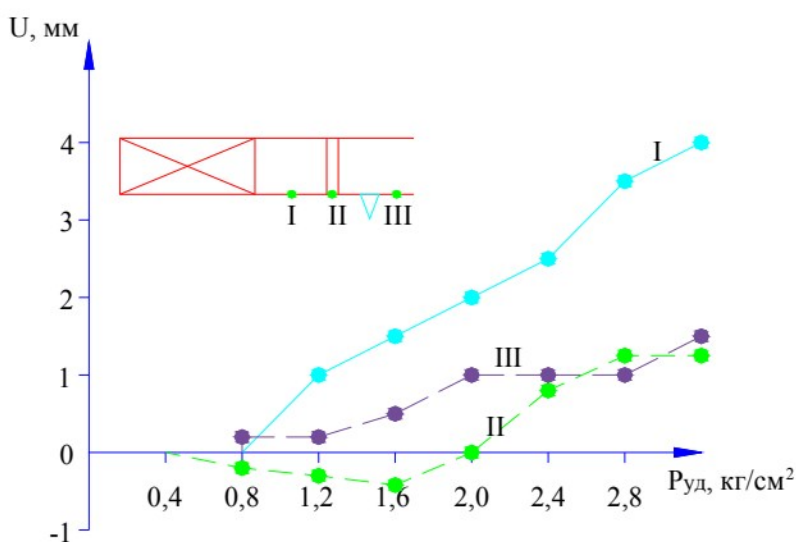
Рис.3. Результаты наблюдений за перемещением марок на конечной стадии эксперимента с разгрузочной полостью



## ПРОБЛЕМЫ ГОРНОЙ ГЕОМЕХАНИКИ



**Рис.4. График смещений в указанных точках (I, II, III) в зависимости от прикладываемой нагрузки на модель без разгрузочной полости**



**Рис.5. График смещений в указанных точках (I, II, III) в зависимости от прикладываемой нагрузки на модель с разгрузочной полостью**

На рис.4, 5 векторы перемещения марок выполнены в масштабе 5:1, т.е. на отрезке длиной 10 мм, изображенном на рисунке, смещение точки составляет 2 мм.

По перемещениям марок (рис.2), отчетливо просматривается процесс выдавливания пород почвы из-под штампа с максимальным перемещением их под углом в обнаженную полость между штампом и ор-

ганной крепью и составляет 10 мм, что в условиях натуре равно 250 мм.

Здесь следует отметить усиление величины пучения почвы за счет выдавливания ее пород из – под органной крепи. Потеря прочности пород непосредственной почвы под влиянием штампа, как первичное разрушение, способствует последующему их разрушению и перемещению в рабочее пространство от выдавливания их из – под органной крепи. За ней, в выработанном пространстве пучение почвы значительно меньше, направление его преимущественно вертикальное.

Проведение разгрузочной щели в почве выработанного пространства существенно меняет направления перемещения пород (рис.3). Здесь наблюдается суммарное перемещение разрушенных пород почвы не в выработку, а в основном в сторону разгрузочной щели к ее встречной стенке. Максимальные горизонтальные смещения составили более 8 мм, что применительно к натурным условиям соответствует 200 мм.

Наблюдения за пучением почвы в средней части выработки, под органной крепью в выработанном пространстве, как упоминалось выше, производилось с помощью индикатора часового типа, с точностью отсчета равной 0,01 мм. Результаты наблюдений на моделях без разгрузочной щели (рис.4) и со щелью (рис.5) приведены в виде графиков, где по оси ординат следуют перемещения, по оси абсцисс - нагрузки на модель.

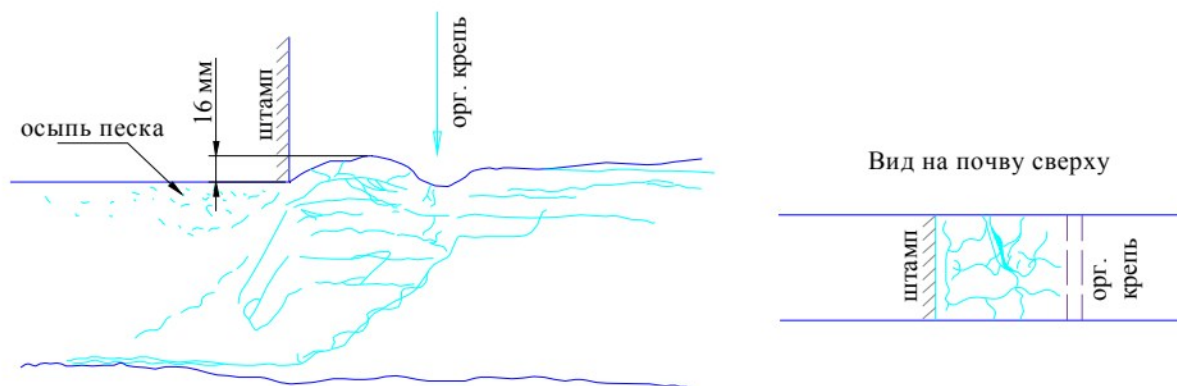
По мере нагружения штампа внешней нагрузкой, создаваемой прессом, монотонно растут смещения во всех наблюдаемых точках. Отметим лишь особенность характера смещения почвы под органной крепью. В начальной стадии испытаний наблюдается вдавливание крепи породы почвы, затем по мере увеличения нагрузок на модель их совместное перемещение вверх. Разгрузочная щель уменьшает эти смещения и, следовательно, облегчает работу органной крепи.

В выработанном пространстве (точка III) пучение почвы и по характеру, и по величине почти не имеют различия.

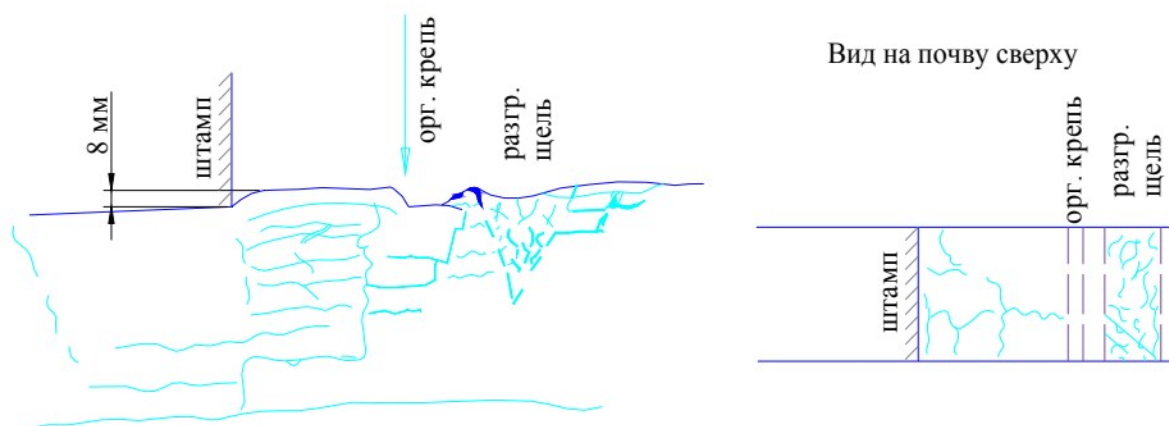
Проведение разгрузочной щели резко снижает суммарное пучение внутри выработки (точка I). В условиях проведения эксперимента при сравнении результатов смещений в обеих моделях пучение снизилось в 2,5 раза.

При демонтаже отработанных моделей производились визуальные зарисовки – эскизы зон разгрузки и рыхления пород почвы в моделях (рис.6, 7). В модели без щели зоны разрушения пород почвы ограничиваются отпором органной крепи, а смещение разрушенных пород выдавленных из-под штампа, полностью реализуется в выработку. В ней образуется куполообразная форма почвы. Пучение почвы на модели, с учетом вдавливания штампа, составило примерно 16 мм (рис.6).





**Рис.6. Эскиз разрушения пород почвы без разгрузочной щели**



**Рис.7. Эскиз разрушения пород почвы с разгрузочной щелью**

В эксперименте со щелью зона разрушения пород почвы распространялась и за щель в выработанное пространство, а почва выработки оставалась плоской и поднялась лишь на 8 мм (рис 7).

Проведенные лабораторные исследования позволили выполнить качественную оценку влияния разгрузочной щели на уменьшение пучения почвы в присечных выработках. Очевидно, что эффективность осуществления этого метода разгрузки в шахтных условиях даст положительный результат.

### Литература

1. Полухин В.А. Геотехнология сооружения устойчивых горных выработок при разработке пластовых месторождений на больших глубинах. – Новочеркасск: УПЦ «Набла» ЮРГТУ (НПУ), 2004. – 266 с.
2. Костоманов А.И., Касвян Н.Н. Разгрузка почвы

подготовительных выработок при помощи компенсационных щелей // Разработка месторождений полезных ископаемых. – 1976. – Вып. 45. – С. 24 – 27.

3. Калоеров С.А., Горянская Е.С., Полухин В.А. Напряженное состояние массива горных пород с выработкой и разгрузочными щелями // Теоретическая и прикладная механика. – 1996. Вып. 26. – С. 28 – 35.

4. Комиссаров М.А. Фролов Э.К. Андриенко В.М. Исследование параметров охраны горных выработок разгрузкой вмещающего породного массива скважинами по углю // Вопросы управления кровлей охраны и крепления горных выработок. – Донецк: ДонУГИ, 1969. – С. 125 – 132.

5. Глушихин Ф.П., Кузнецов Г.Н., Шклярский М.Ф. и др. Моделирование в геомеханике. М.: Недра, 1991, 240 с.

6. Кузнецов Г.Н., Будько М.Н., Васильев Ю.И. и др. Моделирование проявлений горного давления. Л. – Недра 1968 г., 280 с.

Сергей Владимирович Кузьмин, горный инженер, мл. научн. сотрудник лаборатории геомеханики Научного центра геомеханики и проблем горного производства НМСУ «Горный», г. Санкт-Петербург, тел. 8-904-617-88-39, E-mail: kuzmin\_sv@rambler.ru

УДК 622.271

А.В.Демченко

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ И РЕЖИМА ФОРМИРОВАНИЯ ДРЕНАЖНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В НАМЫВНЫХ МАССИВАХ ТОНКОДИСПЕРСНЫХ ГРУНТОВ

Рассматривается подход к инженерно-геологическому районированию намывных массивов на основе оценки их степени уплотнения и несущей способности. В качестве материала дренажных элементов используются отходы углеобогащения, рудообогащения и пески из пород вскрыши.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** дренажные элементы; степень уплотнения; расчетный слой; несущая способность.

А. V. Demchenko

## DETERMINATION OF THE PARAMETERS AND REGIME OF THE FORMATION OF THE DRAINAGE ELEMENTS IN THE FILLING MASSIVE OF THE FINELY DISPERSED SOILS

There was considered the approach to the engineering-geological zoning of the filling massive on the base of the assessment of their degree of compaction and bearing capacity. Coal tailings, ore tailings and sand from overburden rocks are used as the material of drainage elements.

**KEY WORDS:** drainage elements; degree of compaction; current layer; bearing capacity.

Повышение вместимости и экологической безопасности гидроотвалов становится возможным на основе разработки конструкции и определения пространственного положения, темпов возведения, количества дренажных элементов и оценки степени их влияния на намывной массив.

Для достижения поставленной цели необходимо выполнить: теоретический анализ процессов изменения во времени состояния намывных массивов с позиций их уплотненности и несущей способности; использование решений теории фильтрационной консолидации; оценку степени уплотнения зон предельного напряженного состояния грунтов и допустимых нагрузок для этих зон; привлечение данных инструментальных наблюдений и комбинированного зондирования гидроотвалов (в зимний период со льда); анализ результатов выполненных работ по ускорению консолидации намывных массивов на гидроотвалах КМА и Кузбасса.

Исследования показали, что для эффективного использования территорий гидроотвалов необходимо обладать исчерпывающей информацией о состоянии намывного массива как техногенного образования, уметь прогнозировать поведение намывных оснований во времени, для чего надо располагать данными об уплотняемости тонкодисперсных масс. Важнейшими характеристиками уплотняемости грунта являются коэффициенты сжимаемости ( $a$ ) и консолидации ( $C_v$ ), с использованием которых выполняются расчеты избыточного порового давления ( $P_u$ ) в отдельных точках массива, степень уплотнения ( $U$ ) и осадок породных слоев ( $S$ ).

При установлении расчетных параметров были использованы материалы представительных лабораторных и натурных исследований намывных массивов гидроотвалов Кузбасса, проведенных кафедрой геологии МГГУ и ВНИМИ в течение семидесяти-девяти лет.

Значения сцепления  $C$  (кг/см<sup>2</sup>) и угла внутреннего трения  $\varphi$  (град.) для намывного массива различной мощности с равными показателями времени «отдыха» уточнялись с использованием зависимостей вида:

$$\varphi = \varphi_3 + K_1 U,$$

$$C = C_3 + K_2 U,$$

где  $K_1$  и  $K_2$  - эмпирические постоянные;  $\varphi_3$ ,  $C_3$  - значения угла внутреннего трения и сцепления, получен-

ные по результатам испытаний грунтов в условиях закрытой системы ( $U=0$ ).

Усредненные характеристики сопротивления сдвигу намывных грунтов по трем обобщенным зонам гидроотвалов «Бековский» и «Прямой Ускат» представлены в табл. 1.

Таблица 1

**Характеристики сопротивления сдвигу намывных грунтов гидроотвалов «Бековский» и «Прямой Ускат»**

Зона гидроотвала	Сцепление $C$ , кг/см <sup>2</sup>	Угол внутреннего трения $\varphi$ , град.
Пляжная	0.13	14
Промежуточная	0.14	12
Прудковая	0.15	6

Для расчетов консолидации намывных грунтов различных зон гидроотвала получены компрессионные зависимости следующего вида:

а) пляжная зона:

$$\varepsilon = 0.025q^2 - 0.195q + 0.84; \quad 0 \leq q \leq 4 \text{ кг/см}^2,$$

где  $a=0.025$ ;  $b=0.195$ ;  $a_1=0.84$ ;

б) промежуточная зона:

$$\varepsilon = 0.024q^2 - 0.218q + 0.930; \quad 0 \leq q \leq 5 \text{ кг/см}^2;$$

$$\varepsilon = 0.44 - 0.0002q; \quad 5 \leq q \leq 10 \text{ кг/см}^2,$$

где  $a=0.024$ ;  $b=0.218$ ;  $a_1=0.930$ ;  $b_1=0.44$ ;  $c_1=0.0002$ ;

в) прудковая зона:

$$\varepsilon = 0.020q^2 - 0.216q + 0.960; \quad 0 \leq q \leq 6 \text{ кг/см}^2;$$

$$\varepsilon = 0.36 - 0.0005q; \quad 6 \leq q \leq 10 \text{ кг/см}^2,$$

где  $a=0.020$ ;  $b=0.216$ ;  $a_1=0.960$ ;  $b_1=0.36$ ;  $c_1=0.0005$ .

На основании обратных расчетов с использованием полученного А.М.Гальпериным решения задачи об «отдыхе» намывного слоя на водоупоре [1] установлены зависимости коэффициента консолидации  $C_v$  (м<sup>2</sup>/сут) от уплотняющей нагрузки  $q$  (кг/см<sup>2</sup>) вида  $C_v = C_v^0 \cdot \exp(-\lambda q)$  для зон:

- пляжной  $C_v = 0.051 \cdot \exp(-0.03q)$ ,

- промежуточной  $C_v = 0.041 \cdot \exp(-0.09q)$ ,

- прудковой  $C_v = 0.038 \cdot \exp(-0.14q)$ .

Полученные данные необходимы при геомеханической оценке состояния грунтов гидроотвала для определения характера поведения намывного массива во времени как без применения специальных мероприятий по ускорению его уплотняемости, так и с ними. При этом использовались решения следующих задач:

- уплотнение слоя переменной мощности на водоупоре;

## ПРОБЛЕМЫ ПРОМЫШЛЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

- «отдых» слоя под действием постоянной внешней нагрузки (от дренажных элементов после завершения их формирования);

- определение максимальной несущей способности и осадок намывного основания при заданной нагрузке.

Одной из важнейших характеристик состояния гидроотвала является несущая способность  $P_{доп}$  намывных масс и ее изменение во времени. Знание значений  $P_{доп}$  на различных этапах «жизни» намывного массива позволяет произвести выбор направления дальнейшего использования территории гидроотвала, направления и порядка производства работ, выбор типа и количества оборудования.

Для оценки максимальной несущей способности основания формула Прандтля-Рейснера представлена в виде:

$$\frac{P_{np}^{kp}}{C} = \frac{(\alpha + ctg\varphi)(1 + \sin\varphi)e^{\pi ctg\varphi} - ctg\varphi(1 - \sin\varphi)}{1 - \sin\varphi},$$

где  $\alpha = \frac{q_{вн}}{C}$  - коэффициент пригрузки намывного основания.

Отсюда величина допустимой нагрузки на намывной массив

$$P_{доп} = \frac{P_{np}^{kp}}{\eta},$$

где  $\eta$  - коэффициент запаса, для условий Кузбасса принимается равным 1,2;  $P_{доп}$  - определялось как функция от времени «отдыха»  $t_0$  для двух случаев консолидации гидроотвального массива:

1) уплотнение под действием собственного веса ( $\alpha=0$ );

2) уплотнение с учетом внешней нагрузки от дренирующего материала мощностью 2 м, используемого для закрытия намывной толщи глинистых пород ( $\alpha=4$ ).

Коэффициент относительной сжимаемости принимает вид  $a'_0 = \frac{a}{1 + \varepsilon} \cdot \beta$ , так как учитывается боковой

распор. Коэффициент  $\beta$ , влияющий в конечном итоге на значения осадок намывного массива, принят в виде:

$$\beta = \frac{(1 - \lambda)(1 + 2\lambda)}{(1 + \lambda)},$$

где  $\lambda = \frac{Pq}{Pz}$ ,  $Pq$  - боковое давление, кг/см<sup>2</sup>;  $Pz$  - осевое давление, кг/см<sup>2</sup>.

Применительно к условиям Кузбасса получены значения  $\beta=0.7-0.9$  для намывных грунтов пляжной, промежуточной и прудковой зон, начиная с глубин 10 м и более. Значения  $\beta=0.9$  получены для грунтов прудковой зоны под осевой нагрузкой, соответствующей мощности намывного массива 50 м.

По результатам расчетов построены зависимости изменения несущей способности намывных масс гидроотвалов от времени их «отдыха» и мощности глинистой толщи для трех инженерно-геологических

зон территории намывного массива.

Материалы инженерно-геологического районирования намывных территорий обеспечивают решение следующих основных задач:

- увеличение вместимости действующих сооружений на основе форсирования консолидации тонкодисперсных грунтов;

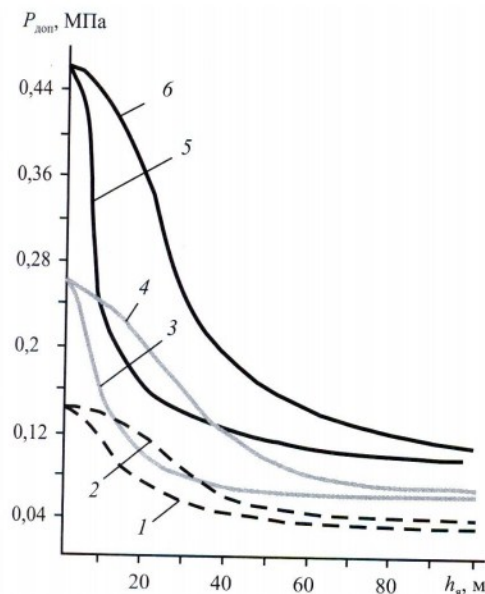
- подготовка намывных территорий для их дальнейшего народнохозяйственного использования (рекультивации или размещения сухих отвалов).

При регламентировании режима намыва дренажной призмы из отходов углеобогащения решалась задача определения максимально возможной скорости подвигания торца дренажной призмы во внутренних зонах гидроотвала. Определение  $V_{т.п.}$  в период возведения дренажной призмы производилось с учетом наиболее полного использования несущей способности расчетного слоя, мощность которого  $h_p$  определяется глубиной залегания нижней границы области предельного состояния намывных грунтов с учетом условия

$$\tau_{max}^{max} = \tau_k,$$

где  $\tau_{max}^{max}$  - максимальное касательное напряжение, составляющее  $0.33P_0$  при полосовой нагрузке интенсивностью  $P_0$ ;  $\tau_k$  - сопротивление грунтов сдвигу (вращательному срезу).

На рис.1 даны графики несущей способности ядерных (прудковых) зон гидроотвалов для условий Кузбасса.



**Рис.1. Зависимости несущей способности  $P_{доп}$  намывных глинистых грунтов от мощности ядерных зон  $h_я$  гидроотвалов(Кузбасс) при  $\alpha=0$  (пунктир);  $\alpha=2$  (серые);  $\alpha=4$  (черные); 1,3,5  $t_0=1$  год; 2,4,6  $t_0=20$  лет**

### Литература

1. Гальперин А.М. Геомеханика открытых горных работ. М., изд. «Горная книга», 2012 г., 480 с.
2. Гальперин А.М., Кутепов Ю.И., Кириченко Ю.В. и др. Освоение техногенных массивов на горных предприятиях. М., изд. «Горная книга», 2012 г., 336 с.

Александр Васильевич Демченко, канд.техн.наук, ст. преподаватель  
Института инженерной экологии и химического машиностроения  
МГУМ «МАМИ», тел. 89167945354, E-mail: demchenko\_av@mail.ru



# ПРОБЛЕМЫ ПРОМЫШЛЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

УДК 614.8

*В.К.Мусаев, В.П.Спирidonov, И.В.Деревяшкин, Е.В.Дикова, В.В.Стародубцев*

## О КОМПЛЕКСНОМ И СИСТЕМНОМ ПОДХОДЕ В МОНИТОРИНГЕ БЕЗОПАСНОСТИ ОБЪЕКТОВ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ И СОЦИАЛЬНОЙ СФЕРЫ ПРИ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ

Приводится информация о комплексном и системном подходе в мониторинге безопасности объектов социальной и производственной сферы при чрезвычайных ситуациях природного и техногенного характера. Проведенный анализ позволяет сделать вывод о том, что в настоящее время комплексный и системный подходы являются единственно верными подходами к решению проблем безопасности.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** мониторинг; сложный процесс; безопасность; чрезвычайные ситуации; объект; социальная и производственная деятельность; сложная система; комплексный подход; системный анализ.

*V.K.Musayev, V.P.Spiridonov, I.V.Derevyashkin, E.V.Dikova, V.V.Starodubtsev*

## ON A COMPREHENSIVE AND SYSTEMATIC APPROACH TO SAFETY MONITORING OF INDUSTRIAL AND SOCIAL SPHERES IN EMERGENCY SITUATIONS

Provides information on a comprehensive and systematic approach to safety monitoring of social and industrial areas in emergency situations of natural and technogenic character. The analysis allows to conclude that at present the comprehensive and systematic approaches are the only true approaches to solving security problems.

**KEY WORDS:** monitoring; complex process; security; emergency; facility; social and production activity; complex system; complex approach; system analysis.

В настоящее время мониторинг изучается и используется в технических и социальных науках, в различных сферах практической деятельности. Осталось достаточно мало областей деятельности, где в той или иной мере не использовался бы мониторинг.

Основная сфера практического применения мониторинга – информационное обслуживание управления в различных областях деятельности. Мониторинг представляет собой достаточно сложное явление. Он используется в различных сферах, но при этом обладает общими характеристиками и свойствами. Однако различные системы мониторинга существуют и развиваются достаточно изолированно в рамках той или иной науки. В экологии мониторинг достаточно глубоко проработан. Созданы средства измерения, адекватные поставленным задачам, существует отлаженная система реализации мониторинга, включающая в себя сбор, хранение, обработку и распространение получаемой информации, статус его закреплён на законодательном уровне.

Некоторые результаты в области математического мониторинга динамических процессов приведены в следующих работах [16–18].

В экологии мониторинг определяется как непрерывное слежение за состоянием окружающей среды с целью предупреждения нежелательных отклонений по важнейшим параметрам. Инструментальный мониторинг нацелен на фиксацию отрицательных последствий хозяйственных действий и их вторичных эффектов и обладает низким прогностическим потенциалом. Предпринимаемые действия носят характер спасательных работ. Существует и другая точка зрения на понятие термина мониторинг. Она включает в себя систему наблюдений, оценку и прогноз состояния окружающей природной среды и не включает управление качеством окружающей среды и деятельностью человека. Практика реализации экологического мониторинга предусматривает его обязательную взаимосвязь с системами управления и реагирования. Обеспечение связи мониторинга с системами

управления и реагирования, безусловно, целесообразно и с точки зрения повышения его собственной эффективности, и с точки зрения расширения возможностей его использования. Следует отметить, что экологической информацией пользуются не только органы управления, но и та часть населения, которая непосредственно заинтересована в этой информации, и все общество в целом. В практике использования экологического мониторинга позиция открытости и доступности информации, предоставляемой им, имеет принципиальное значение.

Реализация этого принципа предусматривает использование социологического мониторинга. Социологический мониторинг представляет собой некоторую систему отслеживания происходящих в обществе перемен на основе исследования и анализа массовых представлений о них. Основная цель социологического мониторинга – обеспечить общество достоверной, своевременной, достаточно полной и дифференцированной социально-значимой информацией. Социологические исследования проводятся по разным темам, в разное время, в разных регионах и в рамках различных социальных групп, при помощи разнообразных социологических инструментов и методов. Получаемая в результате социологических исследований информация трудно сопоставима. Большая часть этой информации поступает к пользователям, уже успев устареть.

Главная особенность социологического мониторинга состоит в целостности, системности, которая обеспечивается строгой привязкой к общей системе индикаторов. Каждое направление исследования опирается на набор индикаторов, выбираемых из общей системы. Эти наборы частично пересекаются. Например, один индикатор может операционализироваться вопросами, обращенными ко всем группам населения. Отсюда видно, что мониторинг дает более качественную информацию, базируется на конечном количестве системно отобранных индикаторов. Особенными условиями являются наличие методическо-

## ПРОБЛЕМЫ ПРОМЫШЛЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

го контроля за реализацией проекта и слаженность процессов сбора обработки и анализа полученной информации. В рамках социологии мониторинг может использоваться для решения большого количества задач. Например, его можно рассматривать как средство обеспечения эффективного функционирования системы прогнозирования. При этом прогнозирование не сводится к безусловным предсказаниям, а ставит целью заблаговременное взвешивание возможных последствий принимаемых решений с помощью сугубо условных предсказаний поискового и нормативного характера.

Когда принятое решение начинает проводиться в жизнь, прогнозируемая ситуация начинает меняться. Она меняется и объективно, под воздействием факторов прогнозного фона. Технологический прогноз может и должен быть непрерывным. В качестве способа, обеспечивающего непрерывность прогноза, предлагается использовать периодический опрос экспертов с учетом изменившейся ситуации. Однако при периодическом опросе одной и той же группы экспертов проводится повторное исследование, со всеми его плюсами и минусами. К минусам можно отнести инерционность мышления экспертов. К плюсам можно отнести процесс совершенствования своей оценки с учетом результатов каждого этапа.

Представляет интерес другая точка зрения на толкование понятия мониторинга в социологии. Социологический мониторинг рассматривается как системная совокупность регулярно повторяющихся исследований, цель которых состоит в научно-информационной помощи заинтересованным организациям в реализации социальных программ, соответствующих характеристикам и особенностям массового сознания различных поколений населения.

В целях более полного освещения интересующей нас проблемы, коснемся проблем применения мониторинга в медицине. В этой области предметом мониторинга является интегральное воздействие на человека окружающей природной среды. Он осуществляется с целью выявления и предупреждения критических ситуаций, опасных для здоровья человека. В медицине, более чем в какой либо иной сфере, получили распространение различные системы мониторинга. Можно отметить, что в медицине мониторинг используется также в научных целях для доказательств тех или иных исследовательских гипотез.

Интересным является использование мониторинга в психологии. Психологический мониторинг выявляет тенденции и закономерности психологического развития определенных групп людей на различные природные и техногенные процессы.

Таким образом, проблемы мониторинга во всех сферах его использования решаются на уровне их теоретического осмысления и практической реализации. Области использования мониторинга чрезвычайно разнообразны. Многочисленные системы мониторинга обладают некоторыми общими характеристиками, что позволяет сделать вывод о мониторинге как целостном самостоятельном научно-практическом феномене. Различие в толковании сущности монито-

ринга отражает специфику и уровень разработанности проблем мониторинга в каждой из областей его применения.

Целью функционирования системы мониторинга опасных объектов, природных явлений и процессов должна являться информационная поддержка решений по разработке оперативных мер защиты от неблагоприятных процессов.

Для достижения поставленной цели система мониторинга должна базироваться на сочетании данных наземной наблюдательной сети и данных дистанционных съемок территории с их обработкой на основе компьютерных технологий. Дистанционные съемки позволяют получать информацию, недоступную для наземных методов, дают возможность надежно экстраполировать наземные данные и целенаправленно размещать наземную сеть. Созданная таким образом система позволит получать информацию по всей площади контролируемого района, обеспечит оперативность данных о различных компонентах природной среды.

Система должна обладать гибкостью и унификацией в форматах обмена данными, времени их прохождения, процедурах выработки решений.

Национальная система мониторинга опасных природных и техногенных процессов должна быть объединена элементами спутниковой связи и другими видами связи. За структурную основу российской системы мониторинга может быть принят сетевой принцип. Сеть должна включать систему стационарных региональных центров фонового контроля и мобильные пункты детального контроля.

Мониторинг природных, техногенных и экологических чрезвычайных ситуаций рассмотрен в следующих работах [6, 8, 12, 14].

Задачей национальных систем является информационное обеспечение контроля опасных природных и техногенных процессов в приграничных областях. На протяжении всего времени должен вестись фоновый контроль очагов потенциального возникновения опасных процессов, факторов их возникновения и развития и текущих изменений. Задача фонового контроля должна решаться на основе региональных центров мониторинга. При обнаружении опасной фазы процесса контроль должен переходить к мобильным центрам детального мониторинга, имеющим самолетное базирование. Данные от мобильных центров детального контроля через каналы связи поступают в региональный центр. После обработки и в случае принятия предварительного решения опасного процесса информация передается в национальный центр.

Методы и средства системы мониторинга опасных процессов должны обеспечивать контактные и дистанционные наблюдения процессов, интегрирование и обработку данных наблюдений.

Россией принят ряд федеральных целевых программ, предусматривающих восстановление и серьезное развитие систем и методов мониторинга. При этом ставится задача на получение данных для оцен-

## ПРОБЛЕМЫ ПРОМЫШЛЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

ки и прогноза состояния окружающей среды в связи с естественными процессами и хозяйственной деятельностью человека. Для их решения и выполнения необходимо развитие природно-хозяйственного, биоэкологического и санитарно-гигиенического мониторинга на глобальном, региональном и локальном уровнях.

Мониторинг предназначен для обеспечения разработок научно-технических, правовых и социально-экономических основ государственной политики в области безопасности, средств и методов защиты человека, территорий и среды обитания от крупномасштабных аварий и катастроф техногенного и природного происхождения.

Он позволяет создать основу для разработки систем диагностики аварийных ситуаций и методов ликвидации последствий аварий.

Некоторые исследования в области мониторинга безопасности сложных систем приведены в следующих работах [1–5, 7, 9–11, 13, 15].

Задача мониторинга состоит в том, чтобы определить допустимый их уровень и создать технологии, позволяющие не превышать его.

Наиболее эффективным средством минимизации экологических последствий является переход на новые технологии, применение которых снижает само воздействие. Данные, полученные с помощью мониторинга, позволяют снизить затраты на новые технологии.

Другое направление работ в данной области связано с разработкой методик количественной оценки различных воздействий в целях обоснования различного рода санкций. Важным способом минимизации этих воздействия является также разработка технологий компенсационных мероприятий для объектов, защита которых наиболее актуальна и не терпит отлагательства.

Разработанная концепция мониторинга позволяет рекомендовать структуры программно-вычислительного комплекса и геоинформационной системы.

Преимущество данной технологии состоит в том, что, компьютерно-синтезированные карты помимо колоссальной тематической нагрузки позволяют выявить и проанализировать причинно-следственные связи между отдельными компонентами геосистем, различными факторами, процессами и явлениями.

Компьютерная картография и картометрия имеют большое значение для геоэкологического мониторинга территорий. Типичными задачами мониторинга, требующими многопараметрического подхода, являются оценка состояния и изменения инфраструктуры объектов нефтегазодобычи и их влияния на окружающую среду, оценка динамики опасных природных и антропогенных процессов. Сложность геоинформационного обеспечения мониторинга трубопроводных систем объясняется широким спектром природных, климатических и технологических условий их функционирования, разнообразием негативных процессов, происходящих в окружающей среде.

При ликвидации последствий аварийных выбросов нефти главной задачей мониторинга является детальное изучение процессов ее перераспределения и

вторичной миграции на подстилающей поверхности, в грунтах и грунтовых водах. Для решения этой задачи применение многопараметрического картографического анализа необходимо.

Под управлением риском понимается любая деятельность, направленная на снижение риска и смягчение последствий нежелательных событий природного и техногенного характера. Под управлением трансграничным риском понимается деятельность государственного политического устройства, направленная на снижения риска и смягчения последствий нежелательных событий, обусловленных ситуацией, в которой тот или иной источник опасности, находящийся на территории одного из государств, представляет угрозу для населения других государства.

На современном этапе межгосударственных отношений в области управления трансграничными рисками встает еще одна проблема, связанная с поисками компромиссных решений по снижению угрозы для населения и природы той или иной страны от источников опасности, обусловленных хозяйственной деятельностью в других странах.

Однако эти взаимосвязанные стратегические принципы имеют право на их практическое использование только во взаимоотношениях между странами, находящимися на примерно одинаковом уровне экономического развития и обладающими эквивалентными на душу населения экономическими ресурсами. Использование же рассматриваемых принципов во взаимоотношениях между странами с разным уровнем экономического развития может привести к серьезным межгосударственным конфликтам.

Естественно, что каждая из этих стран стремится реализовать свои цели: максимально снизить риск для населения своей страны, вкладывая имеющиеся в их распоряжение ресурсы в совершенствование мер безопасности для источников опасности, расположенных на территории их страны.

В настоящее время происходит экспоненциальный рост глубоких и широкомасштабных исследований, направленных на получение количественных оценок стоимости продления жизни вследствие принятия мер технического или организационного характера в том или ином виде деятельности с целью повышения уровня безопасности населения. Более того, в различных странах начат процесс создания банков данных для этих величин.

Приоритетной задачей в области формирования международной политики России должна стать разработка национальной концепции управления трансграничными рисками, обеспечивающей соблюдение интересов нашей страны с точки зрения экологической, экономической и политической.

Проблемы, порождаемые чрезвычайными ситуациями, очень трудно локализовать в государственных границах, поэтому особое значение приобретает задача создания международной системы предотвращения и ликвидации последствий природных и техногенных катастроф.

В настоящее время опасности и угрозы приоб-



ретают комплексный взаимоувязанный характер. Однако угроза влечет за собой целую цепочку других опасностей. Чрезвычайные ситуации в техногенной, социальной и экологических сферах деятельности приносят военные действия. Техногенные катастрофы индуцируют природные катаклизмы. Природные бедствия пагубно влияют на техногенную безопасность. Подобных примеров можно привести много.

Поэтому в настоящее время комплексный и системный подходы являются единственно верными подходами к решению проблем безопасности. Под комплексной безопасностью общества, человека и территорий мы подразумеваем обеспечение безопасности от всех видов опасностей и угроз в рамках единой стратегии с использованием полного набора форм и методов противодействия им. Это понятие интегральное. До настоящего времени принято было рассматривать и обеспечивать безопасность по ее видам, направлениям – военную, промышленную, информационную, природную и т.д. Эти направления обеспечения безопасности, останутся актуальными и впредь.

Однако в различных подходах к решению проблем безопасности цивилизации, мирового сообщества, страны, коллектива, личности важны не только конкретные нависшие над ним угрозы, но и общие идеи, объединяющие всевозможные аспекты опасности, намечающие общую методологию безопасного существования.

## Литература

1. Филиппов В.М., Мусаев В.К., Земцов С.П., Стрелко С.В., Щесняк Е.Л. Анализ и управление риска в задачах безопасности // Проблемы управления безопасностью сложных систем. Материалы IX Международной конференции. – М.: РГГУ, 2001. – С. 78–82.
2. Мусаев В.К. Метод предельного состояния в задачах расчета уникальных сооружений на безопасность при чрезвычайных ситуациях // Техносферная безопасность – II часть: материалы седьмой Всероссийской научно-практической конференции. – Ростов-на-Дону: Ростовский государственный строительный университет, 2002. – С. 224–229.
3. Мусаев В.К. Анализ риска в задачах безопасности населения и территорий. – М.: РУДН, 2005. – 21 с.
4. Мусаев В.К. Методы управления риском в политике смягчения последствий чрезвычайных ситуаций. – М.: РУДН, 2005. – 24 с.
5. Мусаев В.К. Нормативная база расчета на безопасность уникальных сооружений. – М.: РУДН, 2005. – 28 с.
6. Мусаев В.К., Суцев С.П., Попов А.А., Федоров А.Л., Соловьев А.А., Кривошапко С.Н. Экологическая безопасность как инструмент глобальной политики // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия проблемы комплексной безопасности. – 2007. – № 1. – С. 54–61.

7. Мусаев В.К., Суцев С.П., Шиянов М.И., Куранцов В.А. Анализ риска в задачах моделирования опасностей // Проблемы управления безопасностью сложных систем. Материалы XV Международной конференции. – М.: РГГУ, 2007. – С. 111–314.

8. Мусаев В.К., Суцев С.П., Шиянов М.И., Попов А.А. Системный анализ фундаментальных проблем природной, техногенной и экологической безопасности // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия проблемы комплексной безопасности. – 2008. – № 1. – С. 20–26.

9. Мусаев В.К., Суцев С.П., Федоров А.Л., Куранцов В.А. Анализ риска в задаче безопасности системы человек и среда обитания // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия проблемы комплексной безопасности. – 2008. – № 3. – С. 19–25.

10. Мусаев В.К., Суцев С.П., Шиянов М.И., Куранцов В.А., Пашков Ю.Э. О диагностике безопасности сложных технических систем // Техносферная безопасность, надежность, качество, энерго и ресурсосбережение: ТЗ8. Материалы Международной научно-практической конференции. Выпуск X. Том 1. – Ростов-на-Дону: Ростовский государственный строительный университет, 2008. – С. 306–311.

11. Мусаев В.К. О надежности строительных сооружений объектов экономики // Проблемы безопасности российского общества. – 2012. – № 3. – С. 11–16.

12. Мусаев В.К. О концепции системы мониторинга и прогнозирования чрезвычайных ситуаций объектов экономики // Проблемы безопасности российского общества. – 2012. – № 3. – С. 121–131.

13. Мусаев В.К. О безопасности строительного объекта экономики при реконструкции и эксплуатации // Проблемы безопасности российского общества. – 2012. – № 4. – С. 108–114.

14. Мусаев В.К. Некоторые экологические приоритеты экономики // Проблемы безопасности российского общества. – 2012. – № 4. – С. 138–142.

15. Мусаев В.К., Шиянов М.И., Дзыбов М.М., Клиновицкий С.А. О системном анализе безопасности человека, общества и окружающей среды // Двойные технологии. – 2013. – № 2. – С. 23–25.

16. Мусаев В.К. О достоверности компьютерного моделирования нестационарных упругих волн напряжений в деформируемых телах сложной формы // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2014. – № 11. – С. 10–14.

17. Мусаев В.К. Определение упругих напряжений в плотине Койна с основанием с помощью волновой теории сейсмической безопасности // Успехи современного естествознания. – 2014. – № 12 (3). – С. 235–240.

18. Мусаев В.К. Моделирование нестационарных упругих волн напряжений в деформируемых областях с помощью метода конечных элементов в перемещениях // Современные наукоемкие технологии. – 2014. – № 12 (1). – С. 28–32.

Вячеслав Кадыр оглы Мусаев, д-р техн. наук, профессор,  
тел. 89265670558, E-mail: musayev-vk@yandex.ru;

Валерий Петрович Спиридонов, канд. техн. наук, профессор;

Игорь Владимирович Деревяшкин, д-р техн. наук, профессор;

Елена Викторовна Дикова, доцент;

Владимир Владимирович Стародубцев, соискатель

(Кафедра «Горное дело», Московский государственный машиностроительный университет)

## 80 лет Аркадию Михайловичу Навитному



3 октября 2015 г. исполнилось 80 лет выдающемуся горному инженеру-маркшейдеру, чьим высококвалифицированным трудом и умением на протяжении десятилетий успешно развивалась угольная отрасль страны, заместителю директора - начальнику Управления маркшейдерии, геологии и охраны природы ФГБУ «ГУРШ» Аркадию Михайловичу Навитному.

Аркадий Михайлович родился в Украине в г.Апостолово Днепропетровской области. После окончания в 1958 году Днепропетровского горного института им.Артема 57 лет работает по специальности «Маркшейдерское дело», пройдя путь от участкового маркшейдера шахты №3-5 «Сокологоровка» треста «Первомайскуголь» комбината «Луганскуголь» и главного маркшейдера комбината «Кадиевуголь» Минуглепрома УССР до главного маркшейдера Минуглепрома СССР и заместителя директора ФГБУ «ГУРШ».

Работая главным маркшейдером Минуглепрома СССР, он особое внимание уделяет укреплению и развитию маркшейдерии в угольной отрасли страны как одной из важнейших инженерных служб горного производства, которая обеспечивает правильное, рациональное и безопасное ведение горных работ на угольных предприятиях. В период его работы в Минуглепроме СССР маркшейдерская служба выходит на передовые рубежи не только в нашей стране. По своей организации, научному потенциалу, технической оснащенности, кадровому составу, методике производства работ маркшейдерская служба соответствует самым развитым горнодобывающим зарубеж-

ным странам.

По инициативе Аркадия Михайловича Навитного и при его непосредственном участии во всех угольных бассейнах создаются специализированные маркшейдерские бюро по выполнению капитальных маркшейдерских работ, внедряются аэрофотограмметрические, лазерные и спутниковые приборы и оборудование, станции для профилирования вертикальных шахтных стволов, высокоточные теодолиты, тахеометры и светодальномеры, создаются планы горных работ на картографической основе, разрабатываются программы для всех видов инженерных расчетов на электронно-вычислительной технике. Все это позволяет повысить надежность ведения горных работ, обеспечить сохранность подрабатываемых крупных городов, улучшить безопасность на подземных и открытых работах, выполнять задания по рациональной отработке промышленных запасов и охране недр.

Возросший авторитет маркшейдерской службы позволяет провести Международные конгрессы по маркшейдерскому делу (ИСМ) в г.Ленинграде и в г.Иркутске, которые становятся настоящим форумом для ученых и маркшейдеров-производственников всех горнодобывающих стран мира. Президиум ИСМ отмечает большую роль Аркадия Михайловича Навитного в развитии и укреплении Международного общества по маркшейдерскому делу. Он выступает с докладами на девяти международных конгрессах по маркшейдерскому делу. В 1996 г. Аркадий Михайлович избирается Почетным членом Международного общества по маркшейдерскому делу.

В период реструктуризации угольной промышленности, начиная с 1993 г., под руководством Аркадия Михайловича решается комплекс вопросов, связанных с ликвидацией последствий вредного влияния от ведения горных работ, которые являются весьма сложными и мало изученными.

Благодаря его высоким профессиональным знаниям, большому практическому опыту и организаторским способностям обеспечивается решение сложнейших проблем по обеспечению безопасной эксплуатации действующих шахт от прорывов шахтных вод и затопления, защите жилых объектов от рудничных газов на территории горных отводов, недопущению загрязнения питьевых водоисточников шахтными высокоминерализованными водами, своевременному определению провалоопасных зон в районах жилой застройки, тушению горящих породных отвалов и подземных шахтных пожаров, ведению

мониторинга производственной и экологической безопасности в угольных регионах.

Массовое закрытие нерентабельных и особо убыточных шахт (188) и разрезов (15), проводимое в рамках реструктуризации угольной промышленности, в постсоветское время имело весьма слабую нормативную базу и технические требования по многим видам ликвидационных работ. В настоящее время при ликвидации шахт и разрезов, благодаря творческим усилиям Аркадия Михайловича Навитного существует необходимая нормативно-правовая база и технические требования по борьбе с газом, с вытесняемой водой на поверхность при затоплении шахт; по недопущению подтопления земной поверхности, жилых, общественных и промышленных зданий и сооружений; по образованию провалов над старыми горными выработками, по защите подрабатываемых объектов и рекультивации нарушенными горными работами земель.

Благодаря непосредственному участию Аркадия Михайловича в решении самых сложных производственных и научных задач по устранению негативных экологических последствий ликвидации шахт, в целом реструктуризация угольной отрасли дала положительный эффект, привела к снижению техногенного воздействия предприятий на окружающую среду и благоприятно отразилась на состоянии окружающей среды в угольных районах и обеспечила безопасное проживание населения в шахтерских городах и поселках.

Помимо вопросов реструктуризации угольной промышленности, Аркадий Михайлович так же принимает непосредственное участие в работе по контролю за развитием ситуации на разрезе «Коркинский», с целью обеспечения безопасности граждан, проживающих в прибортовой зоне разреза; в решении вопросов, связанных с ликвидацией горных выработок шахты «Центральная» и разреза «Копейский» в Челябинской области, и ликвидацией убыточных шахт и переселения жителей из ветхого аварий-

ного жилья в городах Прокопьевск, Киселевск, Анжеро-Судженск. Участвует в работе рабочей группы по анализу состояния экологической безопасности в угольной промышленности и подготовке предложений по ее улучшению.

С 1983 года по настоящее время Аркадий Михайлович Навитный является Председателем государственной аттестационной комиссии по защите дипломных проектов горными инженерами-маркшейдерами в Московском государственном горном университете, вице-президентом Союза маркшейдеров России, членом редколлегии журналов «Уголь» и «Маркшейдерский вестник».

За высокие заслуги в угольной отрасли Аркадий Михайлович Навитный награжден правительственными наградами: орденом «Знак Почета», медалью «Ветеран труда», медалью «За особый вклад в развитие Кузбасса» III степени (2010 г.), орденом Почета, ему присвоено почетное звание «Заслуженный шахтер Российской Федерации». Он является полным кавалером знака «Шахтерская слава», «Почетным работником угольной промышленности», действительным членом Академии горных наук, лауреатом золотого знака «Горняк России», также награжден золотой медалью за достигнутые успехи и участие на Выставке достижений народного хозяйства СССР.

Горная и научная общественность высоко ценит исключительные человеческие качества Аркадия Михайловича, его высокий профессионализм, верность и преданность маркшейдерской профессии и угольной отрасли, удивительную коммуникабельность, теплоту и внимание к коллегам, неукротимую энергию и молодость духа.

Маркшейдеры угольной отрасли, горная и научная общественность, друзья и коллеги, редакция журнала «Маркшейдерский вестник» от всей души поздравляют Аркадия Михайловича Навитного с юбилеем и желают ему здоровья и долгих лет жизни, счастья и благополучия, а также неиссякаемой творческой энергии!



### Уважаемые руководители предприятий, НИИ, ГПИ и университетов!

*Обращаемся к Вам с предложением о достойном освещении в журнале юбилейных и памятных дат в истории становления и развития возглавляемых Вами организаций, деятельности трудовых коллективов по развитию научно-технического прогресса и подъему производственного потенциала добывающих отраслей хозяйства, а также юбилеев Ваших сотрудников. Редакция готова издать тематический (специальный) выпуск журнала с Вашим творческим участием, взяв на себя журналистскую и фотоиллюстративную часть совместной работы.*

*Надеемся на Ваши встречные предложения.*

Редакция «МВ»



## ИНФОРМАЦИЯ

### Обзор Всероссийской научно-практической конференции «РАЦИОНАЛЬНОЕ И БЕЗОПАСНОЕ НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЕ» 21-26 сентября 2015, г.Ялта

Общероссийской общественной организацией «Союз маркшейдеров России» при содействии Некоммерческого партнерства «Содействие развитию горной промышленности «Горное дело» и Российского геологического общества с 21 по 26 сентября 2015 года в г.Ялте была проведена **Всероссийская научно-практическая конференция «Рациональное и безопасное недропользование».**



**Исполнительный директор СМР В.В.Грицков.  
Рабочий момент конференции**

В работе конференции участвовало 115 человек, включая руководителей и ведущих специалистов маркшейдерских и геологических служб горно- и нефтегазодобывающих организаций: ООО «Башнефть-Добыча», ООО «ЛУКОЙЛ-Западная Сибирь», ООО «Газпром нефть шельф», ООО «Газпром добыча Уренгой», ООО «Газпром добыча Надым», ООО «РН-Уватнефтегаз», ОАО «РН-Няганьнефтегаз», ООО «РН-Краснодарнефтегаз», АО «Самотлорнефтегаз», АО «СУЭК», подразделения АО «СУЭК», ЗФ ПАО ГМК «Норильский никель», ОАО «Михайловский ГОК», МСШСТ УКС АК «АЛРОСА» (ПАО) и др., а также специалисты федеральных органов исполнительной власти, слушатели курсов повышения квалификации и представители научных, общественных, экспертных организаций, ведущих специализированных маркшейдерско-геодезических компаний, включая ООО «НавГеоКом», ООО «НПП «Сибгеокарта».



**Участники конференции от АО СУЭК**

В ходе заседаний были заслушаны доклады на такие актуальные темы, как: «О нормативном обеспечении недропользования», «О повышении качества

маркшейдерских работ с использованием механизмов саморегулирования», «Об опыте надзорной деятельности в области обеспечения безопасного ведения горных работ», «О реализации новых нормативных требований по планированию горных работ и уточнению границ горных отводов», «О качестве исходной документации и материалов для составления проектов горных отводов» и др.



**Рабочий момент пленарного заседания**

В рамках конференции были проведены круглые столы на темы: «О реализации постановления Правительства Российской Федерации от 06.08. 2015 №814 «Об утверждении Правил подготовки, рассмотрения и согласования планов и схем развития горных работ по видам полезных ископаемых» и «О реализации постановления Правительства Российской Федерации от 29.07.2015 №770 «Об утверждении правил подготовки и оформления документов, удостоверяющих уточненные границы горного отвода».

На конференции были вручены почетные грамоты и благодарности за большой вклад в маркшейдерское дело, обеспечение безопасного, рационального недропользования и охраны недр от Минэнерго России, Союза маркшейдеров России и НП «СРГП «Горное дело».



**Президент СМР В.С.Зимич вручает почетную грамоту главному маркшейдеру ОАО «Михайловский ГОК» Сенину Н.В.**

В рамках конференции была проведена техническая экскурсия.

По результатам работы участниками конференции было принято решение.

## О СОВЕРШЕСТВОВАНИИ НАБЛЮДЕНИЙ ЗА СОСТОЯНИЕМ ГОРНЫХ ОТВОДОВ

Всероссийская научно-практическая конференция  
«Новые технологии в геологическом и маркшейдерско-геодезическом  
обеспечении горных работ»

20.10.2015

Москва

Наблюдения за состоянием горных отводов включены в перечень основных видов деятельности маркшейдерских служб, подлежащих лицензированию. Это включение определено требованиями статьи 24 Закона Российской Федерации «О недрах», предусматривающими проведение комплекса маркшейдерских и иных наблюдений, достаточных для обеспечения нормального технологического цикла работ и прогнозирования опасных ситуаций, своевременное определение и нанесение на планы горных работ опасных зон, разработку и проведение мероприятий, обеспечивающих охрану работников предприятий, ведущих работы, связанные с пользованием недрами, и населения в зоне влияния этих работ от вредного влияния этих работ в их нормальном режиме и при возникновении аварийных ситуаций.

Закон требует ведения маркшейдерских наблюдений за состоянием переданного в пользование участка недр, определения на их основе деформаций горного массива и земной поверхности, прогнозирования этих процессов и участия в своевременном принятии мер для обеспечения безопасного производства горных работ и предотвращения их негативного влияния на объекты поверхности. При этом особенно выделено обеспечение безопасности людей, как занятых, так и не занятых в горном производстве.

Особенности ведения маркшейдерских наблюдений за состоянием недр применительно к разным отраслям горной промышленности определены в Инструкции по производству маркшейдерских работ, иных нормативных и методических документах.

В последнее время развернулась дискуссия по вопросу ведения наблюдений за состоянием горных отводов при разработке месторождений углеводородного сырья. Так ОАО «Татнефть» вышло с инициативой по исключению пунктов Инструкции по производству маркшейдерских работ, регламентирующих эти вопросы, не предложив никакой альтернативы.

Естественно, что Ростехнадзор не сумел реализовать это предложение, так как принимать решения в противоречии с законодательными требованиями не имеет права. Для исключения пунктов следует внести поправки в Закон Российской Федерации «О недрах» по освобождению нефтяников от обязанности вести маркшейдерские наблюдения и обеспечивать охрану работников и населения от вредного влияния работ, связанных с пользованием недрами. Сомнительно, что кто-то возьмет на себя ответственность проводить такие поправки.

Тем не менее, инициатива татарских нефтяников родилась не на пустом месте, и в профессиональной среде дискуссия по поводу эффективности и затратности существующих систем наблюдений на

нефтяных месторождениях в виде геодинимических полигонов в последние годы ведётся. Данный вопрос в июле текущего года рассматривался на маркшейдерской подкомиссии Научно-технического совета Ростехнадзора и на Научно-техническом совете Союза маркшейдеров России.

Проблемы повышения эффективности наблюдений за состоянием горных отводов, особенно в нефтегазодобывающем комплексе, были признаны актуальными. Для их планомерного решения сформирована рабочая группа по подготовке концепции совершенствования соответствующих нормативных требований, в которую вошли ведущие учёные и руководители маркшейдерских служб с большим практическим опытом в данной области.

В чем причина создавшейся кризисной ситуации? Её возникновение в первую очередь следует связать с относительной молодостью самой нефтяной маркшейдерии, а в особенности такого направления её деятельности, как наблюдения за состоянием горных отводов. Достаточно широкое внедрение основных для отрасли систем наблюдений в виде геодинимических полигонов произошло только в начале этого века. Ранее существовали единичные примеры. Повсеместно велись только наблюдения за геометрическими параметрами объектов обустройства, преимущественно за резервуарами.

Из-за неизученности процессов деформации земной поверхности при разработке месторождений углеводородного сырья на начальном этапе ставилась задача определиться в целом. При этом за основу был взят опыт наблюдений при разработке твёрдых полезных ископаемых, где наибольшую опасность для объектов поверхности представляют краевые участки мульды сдвижений.

На построение мульды сдвижений и были нацелены геодинимические полигоны. При проектировании закладывались нивелирные ходы, пересекающие месторождение вдоль и поперёк простирания и выходящие за пределы влияния разработки месторождения, чтобы определить техногенную составляющую сдвижений.

На практике для крупных месторождений такой подход оказался трудновыполнимым из-за дороговизны полевых работ и технических сложностей, связанных с бездорожьём и большой протяжённостью нивелирных ходов. Это привело к тому, что проектные решения по ведению наблюдений зачастую оказывались нереализованными, или реализовывались не в полном объёме и существенными отклонениями. Со ссылкой на нехватку средств, дело обычно ограничивалось одним или двумя циклами наблюдений. Ситуация сглаживалась низкой требовательностью

## ИНФОРМАЦИЯ

органов Ростехнадзора, которые не проявляли интереса к вопросам реализации проектов геодинамических полигонов.

Протяженность нивелирных ходов осложнила интерпретацию результатов наблюдений. Привлечение к работам на основании тендеров приводило к частой смене исполнителей. В силу их разной квалификации и методических подходов из анализа результатов иногда выпадали целые циклы наблюдений. В целом количество таких анализов имеет ограниченное количество, их результаты не обобщаются, что снижает научную значимость проводимых работ.

В отдельных нефтяных компаниях в разработке находятся десятки лицензионных участков, причём зачастую небольшой площади и с малыми объемами добычи. Тотальное строительство геодинамических полигонов в таких условиях нереально по экономическим причинам.

Попытки обобщить результаты наблюдений на геодинамических полигонах, в том числе при содействии Ростехнадзора, привели только к частичному успеху. Но и то, что удалось ввести в научный оборот, свидетельствует о небольших величинах деформаций в целом по месторождениям. Выявленные деформации кратно меньше предельно допустимых для объектов поверхности и свидетельствуют об отсутствии каких-либо опасностей. Полагаю, что дальнейший ход обобщения имеющихся и вновь полученных данных только подтвердит эти предварительные выводы.

Дороговизна и трудности в реализации существующей методики наблюдений при отсутствии явных рисков породили аллергию на геодинамические полигоны в нефтегазовой отрасли. Стали заказываться заключения, обосновывающие ненужность строительства полигонов на тех или иных месторождениях. Но так как общепринятые критерии разграничения месторождений на потенциально опасные и неопасные выработаны не были, а в нормативной базе такое «аналитическое» освобождение от наблюдений не предусмотрено, путь этот оказался незаконным. На практике он выродился в раздачу направо и налево за скромные деньги индulgенций в виде придуманных для этих целей горногеологических обоснований целесообразности создания геодинамических полигонов. Естественно, что такие обоснования оплачивались только в случае «нецелесообразности» работ.

Перед нами стоит выбор: либо отказаться от геодинамических полигонов в нефтегазовой отрасли и откорректировать законодательные и нормативные требования, либо изменить методику наблюдений с изменением только Инструкции по производству маркшейдерских работ.

Отказываться от геодинамических полигонов преждевременно по одной простой причине. Существуют научные предпосылки того, что в зонах концентрации геологических нарушений при техногенной нагрузке на недра могут развиваться деформации с величинами, значительно превышающими усреднённые значения в целом по месторождению. В свете таких представлений активизация микроблоков земной ко-

ры с их разнонаправленными движениями может создать на стыке этих микроблоков опасные для объектов поверхности ситуации.

Подтвердить или опровергнуть эти предпосылки пока нечем, так как преобладающая сейчас методика наблюдений нацелена на охват всей площади месторождения. Это приводит к «размазыванию» наблюдений тонким слоем по большой территории, а для того, чтобы разобраться с проблематикой геологических нарушений, необходима их концентрация в узких зонах.

Следует учитывать и спекулятивные факторы. Желания повесить на шею горняков, а в особенности нефтяников, чужие проблемы не исчезли. В случае нахождения на территории горного отвода жилой застройки отсутствие результатов наблюдений может привести к взысканию с горняков ущерба в действительности возникшего не из-за разработки месторождения, а из-за плохого качества строительства. Пошла трещина по дому, зачем искать строителей, которые давно разбежались и с которых ничего не возьмешь, когда рядом богатый нефтяник и можно все свалить на него.

Возможны спекуляции иного характера. Чтобы заработать славу радетелей интересов народа и государства в случае отмены наблюдений могут объявиться высокоавторитетные обвинители чиновников Ростехнадзора и нефтяников в преступном сговоре, создавшем из-за взяток и погони за грошовой экономией угрозу национальной безопасности. Не будет результатов наблюдений, и крыть будет нечем. Возьмут под белые ручки и отведут куда надо.

Менять нормативные требования можно только на основе накопленных фактических данных. Для перехода с «площадной» идеологии на идеологию «узких зон» такие данные уже есть, а вот для отказа от геодинамических полигонов таких данных еще нет. Проверим вариант с узкими зонами - получим представительные результаты, вот тогда и можно будет вернуться к этому вопросу.

Преждевременность отказа от геодинамических полигонов определяется еще одним фактором. Основатели нефтяной маркшейдерии советской эпохи рассматривали полигоны не столько с позиции обеспечения безопасности объектов поверхности, сколько с позиции создания дополнительного источника информации для контроля за разработкой месторождений. Подкупал успешный опыт угольной и горнорудных отраслей, где маркшейдерские данные о состоянии массива и поверхности участвуют в процессе принятия основных технических решений по добыче полезных ископаемых, а подчас и определяют их характер.

Предпосылки к этому были. К примеру, если мы знаем величины оседаний техногенного характера на поверхности, то, решая обратную задачу, можем определить деформации продуктивного нефтяного пласта и связанные с этим изменения его фильтрационных характеристик, что очень важно для разработчиков. Отсюда стремление выделить именно техногенную составляющую сдвижений, хотя для обеспечения безопасности объектов поверхности природные гео-



динамические процессы не менее важны. Все это подталкивало к площадной постановке наблюдений.

На практике из-за сложности и малоизученности вышележащей толщи пород мы такие обратные задачи решать не научились. Но выявление характера поведения горного массива в зонах геологических нарушений может оказаться продуктивным. Результаты сейсмического мониторинга в ООО «Газпром Оренбург» показывают активизацию сейсмических событий в узких зонах под воздействием техногенных нагрузок, что свидетельствует о «раскачке» блоков горного массива.

Геологические нарушения, вызванные разломно-блочным строением земной коры, выявляются при геологоразведке. За счет дополнительных методов возможно лишь уточнение блочного строения горного массива. Но геологические данные не дают представлений о поведении блоков при техногенной нагрузке на недра. Одни блоки могут быть только свидетелями былой активности недр, другие - активизироваться и играть роль проводников для флюидов с меняющимися фильтрационными характеристиками. Геологи выявлять раскачку блоков горного массива не научились, потому что нацелены на продуктивный пласт и к массиву в целом интереса не проявляют. Поэтому вопросы контроля за разработкой месторождений следует включать в функционал геодинамических полигонов, чтобы восполнить пробел в изучении состояния недр. На месторождениях твердых полезных ископаемых для этих целей изучается весь горный массив.

Если бы мы научились посредством полигонов получать ценную для разработчиков информацию, то дискуссии по поводу их существования прекратились бы. Пока такой заинтересованности мы не достигли, да в подавляющем большинстве случаев этой задачи и не ставилось. Успешно действующий в других отраслях горной промышленности творческий союз геологов и маркшейдеров в деле осмысления протекающих в горном массиве геомеханических процессов в нефтегазовой отрасли пока что не сложился. Но предпосылки к такому союзу в виде совместного ведения информационных баз геопространственных данных во многих компаниях уже возникли.

Незрелость нефтяной маркшейдерии - ещё не повод для пренебрежения основными канонами горного дела, по которым к главным маркшейдерским

обязанностям относится контроль за состоянием горного массива.

Попытки разрешить наметившуюся кризисную ситуацию радикальными, но уродливыми формами через отмену существующих требований, будь то липовые освобождения, будь то призывы к уничтожению инструкций, успехом не увенчались. Но это не значит, что разрешать кризисную ситуацию не нужно.

Для оптимизации затрат при строительстве и эксплуатации геодинамических полигонов и повышения эффективности работ под методическим руководством Союза маркшейдеров России в течение последнего ряда лет были реализованы пилотные проекты по проектированию геодинамических полигонов. При этом затратная и малоэффективная в условиях нефтегазовых месторождений площадная ориентация наблюдений была заменена на методику, нацеленную на выявление узких зон, определяемых преимущественно геологическими факторами. Это позволяет сконцентрировать наблюдения на ограниченных площадях и получать результаты, позволяющие контролировать ситуацию на больших территориях. При таком подходе затраты на геодинамические полигоны снижаются на порядок, результативность наблюдений возрастает. Использование современных технологий в виде спутниковых наблюдений и радарной интерферометрии позволяет контролировать ситуацию на месторождении в целом, но более дешевыми методами, дающими больше информации.

Главное спасение геодинамики – в совершенствовании подходов и внедрении передовых технологий. Оставаясь на дедовских методах, как это происходит в ОАО «Татнефть», мы ее угробим.

Отмеченные принципы справедливы для всех отраслей горной промышленности, особенно в отношении месторождений большой протяженности. Выявление наиболее характерных и потенциально опасных для месторождения узких зон в сочетании с дистанционными, спутниковыми, геофизическими, сейсмическими и иными технологиями, позволяющими покрывать наблюдениями большие площади, позволяют сокращать затраты и увеличивать эффективность работ как на угле, так и на руде. Так что перед нами стоит межотраслевая задача.

*Виктор Владимирович Грицков, Исполнительный директор  
ООО «Союз маркшейдеров России», E-mail: smr@mwork.ru*

### Уважаемые коллеги!



*Международное Общество по Маркшейдерскому Делу (International Society for Mine Surveying) напоминает Вам, что 12-16 сентября 2016 г. в г.Брисбен, Квинсленд (Австралия) состоится XVI международный маркшейдерский конгресс.*

*Это масштабное мероприятие, которое проходит раз в три года, собирает представителей горнодобывающей промышленности со всего мира и является уникальной возможностью встретиться с ведущими специалистами в области маркшейдерского дела.*

*Призываем Вас принять в конгрессе активное участие!*

*Дополнительную информацию можно найти на сайте конгресса [www.ism2016.com](http://www.ism2016.com)*

**Редакция «МВ»**

**ПРЕДСТАВЛЯЕМ НОВОЕ ИЗДАНИЕ**

## **АГГЕЕВ Ф.М. НА ПУТИ К АЛЯСКЕ**



УДК 528  
ББК26Л2  
А 238

Настоящее издание является дополненным вариантом ранее опубликованной книги «От Петра до Аляски».

Рассмотрены вопросы поэтапного геодезического изучения Сибири, Дальнего Востока и Аляски.

Книга предназначена для геодезистов, географов и геологов, а также для широкого круга читателей, проявляющих интерес к истории наук о Земле.

ISBN 978-5-93856-195-3

© Аггеев Ф.М., 2015

В начале 2015 г. в свет вышла книга Аггеева Ф.М. «На пути к Аляске».

В книге рассматриваются две темы. Первая - хрестоматийная. Рассказывается о геодезическом освоении Сибири, об открытии, заселении и потере Аляски, произошедшей в результате утраты экономической и политической устойчивости России в связи с перестроечными процессами, возникшими после отмены крепостного права.

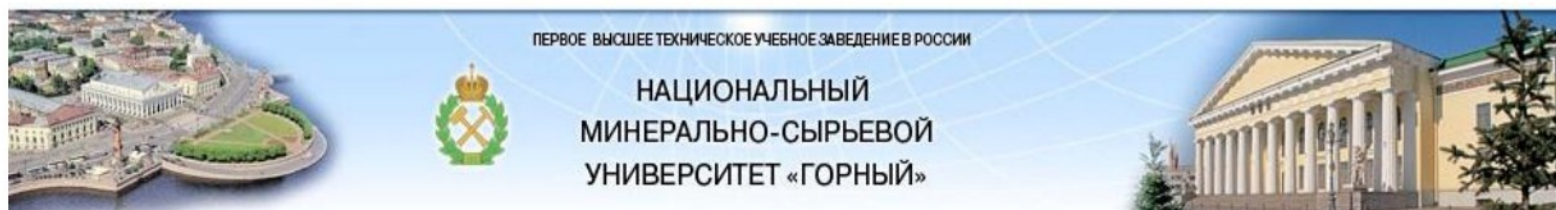
9(19) октября 1867 г. в Ново-Архангельск (Ситку) прибыли правительственные комиссары. Ночью тайно, чтобы никто не видел, был спущен русский флаг. Утром жители города обнаружили себя в чужом государстве. Возмущения не было... Молча собирали вещи и уезжали в Россию. Некогда цветущий город переживал неизбежную смерть. Порт опустел, созданные русскими поселенцами предприятия и мастерские разрушались... Разрушение прошло и во всех других местах и поселениях... Следом началась атака на названия. Русские карты изымались из обихода, вместо прежних названий появлялись новые, американские.

Вторая тема стала продолжением тематики портуланов. Портуланы были детищем античности и средних веков. Но наступили новые времена. XVI, XVII и XVIII века - время новых поколений, новых приборов и новых возможностей. Ставка сделана на устранение слабого места - на определение долгот. Основные надежды науки и практики сфокусированы на хронометрах. Старт этому новому направлению был дан Фризиусом, возродившим в печати в 1533 г. способ определения долгот с помощью точных часов.

В книге «На пути к Аляске» освещается период начального становления хронометра, который для моря оказался весьма продолжительным и долгое время уступающим по точности методу счислений. Описание указанного начального периода было необходимо в связи с тем, что оно предваряло будущие (еще не опубликованные) исследования, когда в одной упряжке по созданию карт оказались соединены усилия многих поколений: античных и средневековых, давших портуланы, с усилиями эпохи Возрождения и Нового времени.



# ИНФОРМАЦИЯ



## Лаборатория маркшейдерских работ Научного центра геомеханики и проблем горного производства

### Научно-исследовательские работы

- теоретические и экспериментальные исследования, обобщение передового опыта маркшейдерских работ при открытом и подземном способах разработки месторождений полезных ископаемых;

- разработка нормативных и методических документов;

- исследование процессов, происходящих на земной поверхности, с применением радиолокационной космической съемки;

- разработка и совершенствование методов маркшейдерского обеспечения строительства и реконструкции шахт и рудников;

- маркшейдерское обеспечение производства горных работ в условиях оптимизации структуры управления горнодобывающими предприятиями.

Лаборатория маркшейдерских работ может эффективно и с высоким качеством выполнить самую сложную работу, касающуюся нашей профессиональной деятельности. Лаборатория владеет технологиями и располагает необходимыми программными средствами и современной маркшейдерско-геодезической приборной базой для проведения научно-исследовательских работ. Коллектив единомышленников, опытных специалистов, грамотных и активных работников готовы выполнить для вашего предприятия следующие работы:

- разработка Технологических регламентов на производство маркшейдерских работ, Положений о маркшейдерском обеспечении промышленной безопасности и охране недр, Инструкций (методических указаний) по определению, учету и нормированию потерь полезного ископаемого, Проектов ликвидации и консервации горных выработок отработанной части горного отвода предприятий;

- совершенствование методик маркшейдерского обеспечения горных работ по развитию опорного и съёмочного обеспечения с применением современных технических

средств, съемке горных выработок, в том числе с использованием бесконтактных дистанционных методов, обеспечению монтажа, контроля геометрических параметров и ремонта крупного горнотранспортного оборудования, определению объемов горных работ в процессе разработки месторождений и др.;

- расчет численности штатов маркшейдерских служб с учетом новых технологий;

- создание информационных продуктов с использованием радарных космических снимков;

- разработка допустимых отклонений геометрических параметров проводников жесткой армировки эксплуатируемых вертикальных шахтных стволов;

- разработка методики анализа профильных съемок жестких проводников вертикальных шахтных стволов с расчетом параметров рихтовочных работ;

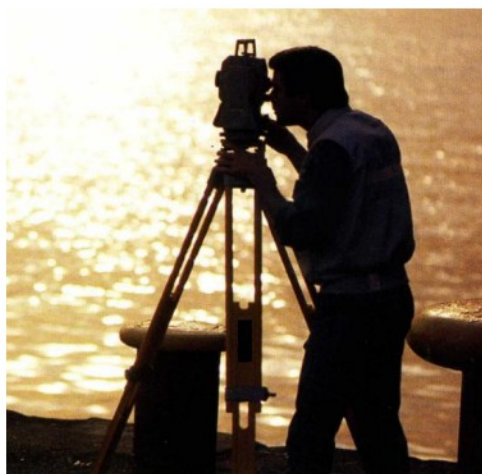
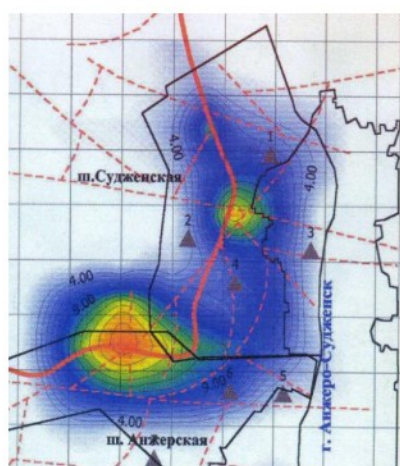
- разработка аппаратуры дистанционного определения положения стволопроходческого комплекса;

- организация изготовления проекциометров для предприятий и обучение персонала измерениям проекциометрами;

- выявление и оконтуривание участков изменений рельефа по космическим снимкам, произошедших за период между двумя съемками;

- создание ортофотопланов и карт с детализацией до 1 м.

Мы стремимся достигать максимального результата с наименьшими издержками (финансовыми, человеческими, временными и т.д.), в том числе за счет внедрения современных достижений науки и технологий, выполняем обещания, данные клиентам, коллегам, партнерам и уверены в результатах своей работы! Наши заказчики за последние 5 лет: ОАО «Апатит», ОАО «ГМК «Норильский никель», Афанасьевский карьер ОАО «Лафарж Цемент», ОАО «СУЭК Красноярск», ООО «СК РУСВЬЕТПЕТРО» и др.



199106, Санкт-Петербург, Васильевский остров, 21 линия д.2

[www.spmi.ru](http://www.spmi.ru) (Научный центр геомеханики и проблем горного производства) [http://vk.com/laboratory\\_md](http://vk.com/laboratory_md)

Проректор (директор): Шабаров Аркадий Николаевич

Телефон: (812)321-8143, факс: (812)321-8143, e-mail: [post@spmi.ru](mailto:post@spmi.ru)

Заведующий лабораторией маркшейдерских работ: Жуков Григорий Петрович, телефон: 8(812)321-30-30

e-mail: [zhukov\\_gp@spmi.ru](mailto:zhukov_gp@spmi.ru)