

ПРОМЫШЛЕННАЯ И ПОЖАРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ПОДЗЕМНЫХ ХРАНИЛИЩ ГАЗА (ПХГ) НА ПРИМЕРЕ КАЛУЖСКОГО ПХГ

INDUSTRIAL AND FIRE SAFETY IN OPERATION OF UNDERGROUND GAS STORAGE FACILITIES (UGS). THE CASE OF KALUZHISKY UGS

*O. Malamut,
lecturer;*

*V. Spiridonov,
candidate of technical sciences,
professor,*

*Academy of the State Fire Service of the EMERCOM
of Russia,
Moscow.*

The mining and geological justification of the system of geodynamic observations (geodynamic polygon) on the territory of the Kaluga UGS in order to ensure industrial, fire safety and protection of the subsurface is considered.

Keywords: underground gas storage facilities, deformations of the earth's surface, monitoring of geodynamic processes, fire safety, fire hazards.

Подземные хранилища газа (ПХГ) являются неотъемлемой частью Единой системы газоснабжения России и расположены в основных районах потребления газа.

ПХГ в России строились как в водоносных пластах, так и в истощенных газовых месторождениях. Одно хранилище, Калининградское, построено в твердых горных породах — в отложениях каменной соли.

Использование ПХГ позволяет регулировать сезонную неравномерность потребления газа, снижать пиковые нагрузки в Единой системе газоснабжения, обеспечивать гибкость и надежность поставок газа.

Всего на территории РФ расположены 25 подземных хранилища газа с суммарной активной емкостью 65,2 млрд. м³.

Сеть ПХГ обеспечивает в отопительный период до 20% поставок газа российским потребителям, а в дни резких похолоданий эта величина достигает 30%.

В России эксплуатируются следующие ПХГ: Касимовское, Канчурино-Мусинский комплекс, Северо-Ставропольские, Кушевское, Краснодарское, Гатчинское, Невское, Калужское, Щелковское, Увязовское, Карашурское, Самарские, Пунгинское, Совхозное, Саратовские.

Касимовское ПХГ — расположено в одноименном районе Рязанской области в 250 км южнее Москвы и находится в структурах Окско-Цнинского вала.

Касимовское ПХГ является в настоящее время крупнейшим в мире, созданным в водоносном пласте, и обеспечивает на 30-35% суточную потребность Москвы и Московской

*О.Ю. Маламут,
преподаватель;*

*В.П. Спиридонов,
кандидат технических наук,
профессор,*

*Академия государственной противопожарной службы
МЧС России,
г. Москва.*

Ключевые слова: подземные хранилища газа, деформации земной поверхности, мониторинг геодинамических процессов, пожарная безопасность, опасные факторы пожара.

области, а также во многом решает вопросы газоснабжения Центрального района России.

Активная емкость Касимовского ПХГ составляет более 9 млрд. м³ газа, количество эксплуатационных скважин — 287.

Максимальная ежесуточная производительность в осенне-зимний период достигает 100 млн. м³ газа, что сопоставимо с величиной суточного газопотребления г. Москвы.

Канчурино-Мусинский комплекс ПХГ расположен в Республике Башкортостан и создан на базе отработанного газоконденсатного месторождения.

В результате реконструкции, которая должна завершиться в 2010 г, предусматривается увеличение объема активного газа в комплексе ПХГ с 3,4 млрд. м³ до 5,5 млрд. м³.

Северо-Ставропольское ПХГ расположено в Ставропольском крае и создано в истощенном газовом месторождении. Крупнейшее в мире Северо-Ставропольское ПХГ регулирует сезонную неравномерность поставок, обеспечивает газоснабжение потребителей Южного федерального округа, республик Закавказья, Украины и надежность экспортных поставок.

Кушевское ПХГ расположено на Северном Кавказе в Кушевском районе Краснодарского края в 200 км от г. Краснодара и создано в истощенном газовом месторождении.

Кроме того, Газпром хранит газ в ПХГ на территории Латвии, Германии, Австрии и Великобритании:

Подземное газовое хранилище (ПХГ) — Германия — Rehden — Активный объем — более 4 млрд. м³ (крупнейшее в Европе).

Подземное газовое хранилище (ПХГ) — Австрия (федеральная земля Зальцбург) — Haidach — Активный объем — более 2,4 млрд. м³, расположено в истощенном газовом месторождении.

Подземное газовое хранилище (ПХГ) — Англия — Saltfleetby — Активный объем — порядка 0,7 млрд. м³.

Подземное газовое хранилище (ПХГ) — Германия — Jemgum — Активный объем — сравнительно малый.

В Латвии расположено Инчукалское ПХГ.

Оно находится к северо-востоку от г. Риги и создано в водоносном слое. Инчукалское ПХГ является единственным функционирующим хранилищем в странах Балтии и обеспечивающим стабильность газоснабжения региона.

Объем Инчукалского ПХГ составляет 4,46 млрд. м³, из которых 2,32 млрд. м³ составлял активный, или регулярно отбираемый природный газ.

Газпром арендует 75% газохранилища Humbley Grove на юге Великобритании, в Германии арендует мощности в ПХГ, принадлежащих фирме VNG, а в Австрии — мощности компании OMV.

Всего в Германии существует свыше 40 ПХГ газа совокупной ёмкостью около 20 млрд. м³.

Все они находятся в частной собственности. E.ON Ruhrgas располагает мощностями примерно на 5 млрд. м³. Крупнейшее ПХГ в Германии и Западной Европе Rehden (4,2 млрд. м³) принадлежит компании WINGAS, совместному предприятию Газпрома и Wintershall.

Банатский двор ПХГ расположено в Сербии. Является одним из крупнейших в Юго-Восточной Европе.

Создано на базе одноимённого истощённого газового месторождения, расположенного в 60 км к северо-востоку от города Нови-Сад. Активный объем хранения ПХГ составляет 450 млн. м³ газа, максимальная производительность на отбор — 5 млн. м³/сутки.

Обеспечивает дополнительную надежность экспортных поставок российского газа в Венгрию, Сербию, Боснию и Герцеговину.

В Италии расположено 10 ПХГ, во Франции — 15, в Австрии — 5, в Нидерландах — 3 [1].

В 2014–2020 годах, в рамках реализации инвестиционных проектов ПАО «Газпром», часть подземных хранилищ (Северо-Ставропольское, Касимовское, Пунгинское, Совхозное, Щёлковское, Краснодарское, Канчурино-Мусинский комплекс и другие) затронула масштабная реконструкция. Она позволила увеличить производительность и оперативный объём ряда ПХГ, заменить оборудование на более современное.

Сохраняя поступательное и динамичное развитие, ООО «Газпром ПХГ» продолжает реконструкцию действующих и строительство новых объектов, таких как Арбузовское (Республика Татарстан), Беднодемьяновское (Пензенская область), Новомосковское (Тульская область) и Шатровское (Курганская область) подземные хранилища газа, наращивание мощностей Удмуртского резервирующего комплекса (Удмуртская Республика).

Впервые в истории во всех филиалах компании перед началом осенне-зимнего периода 2019/2020 года прошли комплексные тестовые испытания подземных хранилищ газа на максимальную суточную производительность. Эти мероприятия подтвердили готовность работы ПХГ в пиковый период и осуществлять отбор газа с рекордной для российской энергетики производительностью 843,3 миллиона кубометров газа в сутки.

В 1957 году начались работы по строительства первого в СССР подземного газохранилища в водоносном слое — под Калугой.

В административном плане Калужское подземное хранилище газа расположено на территории Ленинского района

г. Калуги и Дзержинского района Калужской области, в районе деревни Мстихино, в 10 км западнее г. Калуга.

Непосредственно по территории Калужского ПХГ проходит автомагистраль Москва-Киев и железная дорога юго-западного направления (рис. 1).



Рис. 2. Схема расположения Калужского ПХГ.

Масштаб 1:100 000.



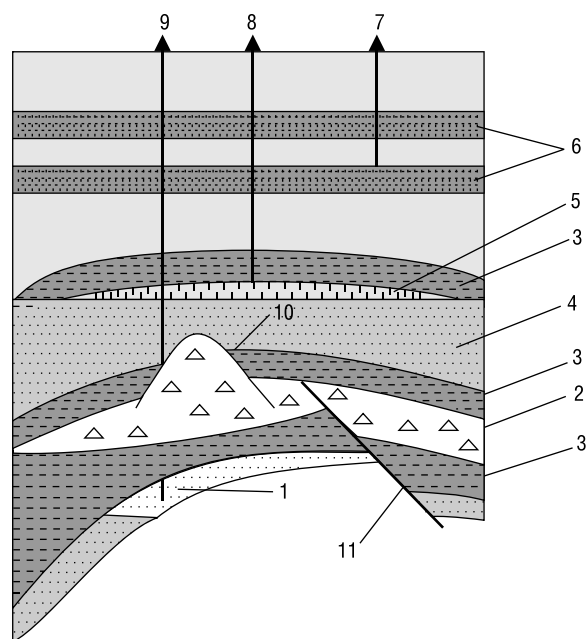
Горный отвод Калужского ПХГ

В 1957 году началось бурение скважин под закачку газа. Но этот процесс не быстрый (рис. 2). Закачивать газ в хранилище нужно постепенно, чтобы повышенным давлением не разрушить пористую структуру самого водоносного пласта. Далее, нужно понимать, что не весь газ, закачанный в пласт, можно будет из него достать. Так как газ в подобном хранилище хранится под непроницаемым куполом, часть его должна оставаться в породе на весь период эксплуатации — иначе хранилище заполнится водой и весь процесс его строительства пойдет насмарку. Такой газ называют буферным. Газ же, который мы можем добавлять и выкачивать из хранилища, называется активным. Соотношение между долями буферного и активного газа колеблется от 2/3 до примерно 4/3, причем, чем доля буферного газа больше, тем выше внутреннее давление и быстрее можно достать на поверхность активный газ [1; 5].



Рис. 2. Бурение скважин по Калужское ПХГ, 1957 год. Архивное фото ПАО «Газпром».

Вытеснение воды газом из капилляров пористых пород никогда не бывает полным, поэтому большая часть газа в пласте представляет собой область, насыщенную газовой смесью с темилииным содержанием газа. При циклических закачках и отборах газа средняя его газонасыщенность в пласте постепенно повышается, но повышение это не беспредельно, поэтому определенная часть порового пространства пород всегда остаётся заполненной водой. Сама область, где происходит хранение газа в поровом пространстве горных пород (пласт-коллектор) может быть условно принята за область, где насыщенность газа отлично от нуля. На рисунке 3 приведена технологическая схема Калужского ПХГ.



- 1 - объект хранения газа (гдовский горизонт)
- 2 - глинистая покрывка
- 3 - кристаллическая брекчия
- 4 - воробьевский горизонт
- 5 - техногенная залежь газа
- 6 - контрольные горизонты
- 7 - контрольные скважины
- 8 - разгрузочные скважины
- 9 - эксплуатационные скважины
- 10 - литологическое окно
- 11 - тектоническое нарушение

Рис. 3. Технологическая схема Калужского ПХГ.

Строительство самого хранилища тоже происходит в несколько этапов. На поверхности земли, строится компрессорная станция, выполняющая очистку, отбор и закачку газа. Сначала газ закачивается в хранилище, затем ему дают возможность прийти в равновесие с водой в пласте, отбирают и закачивают снова. В каждом таком цикле объем хранилища увеличивается, пока, наконец не придет в окончательное равновесное состояние. После чего ПХГ может эксплуатироваться достаточно долго, если не нарушать граничные требования по закачке и отбору газа [1; 9].

В 1963 году, спустя 6 лет после начала разведочных работ, объем хранилища достиг уровня 400 млн. м³ и в 1964 году на-

чалась его полноценная промышленная эксплуатация. Первый шаг по стабильному газоснабжению Москвы и смежных областей был сделан!

Основным различием ПХГ, созданных в водоносных пластах локальных платформенных поднятий, от месторождений нефти и газа является то обстоятельство, что создание искусственной залежи в них по сравнению с геологическим временем формирования месторождений происходит мгновенно. Подобное различие существует также и видах техногенного воздействия на горные породы.

Подверженность определенной территории воздействию опасного явления природы – современной аномальной геодинамике недр, которое, взаимодействуя с особо ответственными и экологически опасными объектами, при определенных обстоятельствах, может привести к тяжелым последствиям для человека и среды его обитания.

Протекающие в настоящее время высокоинтенсивные деформационные и сейсмические процессы, которые имеют природный и/или техногенный генезис, реализуются в наиболее экстремальной форме в зонах разломов.

Создание и функционирование геодинамических полигонов на месторождениях нефти и газа, осуществляется в целях обеспечения промышленной безопасности и охраны недр и предписывается следующими нормативными документами Ростехнадзора [2-4].

Наиболее детально вопросы обоснования, проектирования и функционирования геодинамических полигонов на месторождениях нефти и газа изложены в РД07-603-03 «Инструкция по производству маркшейдерских работ».

Как известно, одной из форм проявления негативных геодинамических последствий, возникающих при длительной разработке нефтегазовых месторождений и ПХГ, являются обширные, охватывающие всю территорию, деформации земной поверхности, обусловленные снижением (увеличением) или циклическим изменением пластового давления. Поэтому, проведение моделирования количественных оценок уровня возможных деформаций земной поверхности является очень важной практической задачей [8].

Пространственное (3D) моделирование осуществляется в целях определения конфигурации поверхности оседания и ее размеров в условиях, когда моделируемый пласт представляет собой (в плане) фигуру неправильной формы (рис. 4). Для математического моделирования напряженно-деформированного состояния подобных объектов использовался гибридный (численно-аналитический) подход.

В его основе лежит принцип суммирования воздействий от набора элементарных конечных прямоугольных призматических включений, которыми аппроксимируется моделируемый пласт не регулярной формы. Учитывая, что в работе Кузьмина Ю.О. в 1999 году получены аналитические выражения для смещений и деформаций поверхности от наличия в полупространстве объемного призматического включения модельного аналога пласта, то численная реализация осуществлялась на основе суперпозиции аналитических решений [5].

Полученное распределение вертикальных смещений земной поверхности использовалось также и для определения оптимальных длин нивелирных профилей, которые следует проектировать с учетом выхода за пределы аномальной деформации.

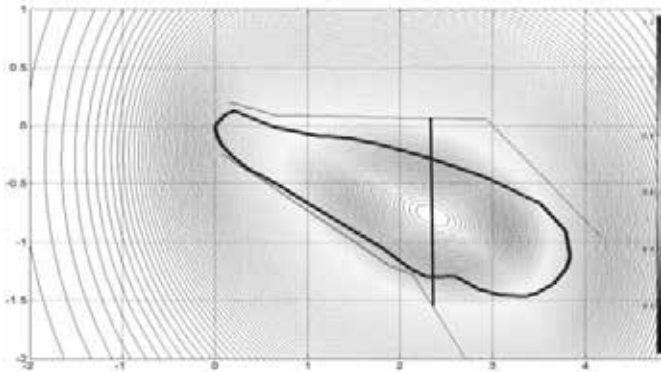


Рис. 4. Распределение вертикальных смещений, вычисленных по гибридной модели, с указанием границ ГВК, горного отвода и предполагаемого профиля.

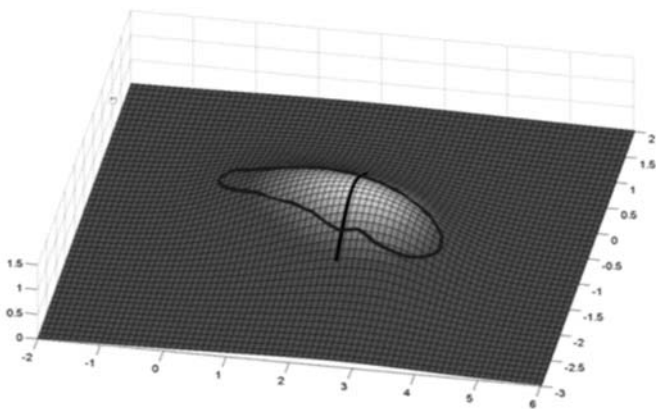


Рис. 5. Результаты 3D-моделирования деформаций земной поверхности, обусловленных отбором газа.

Так, на рис. 5 проведено сопоставление распределения смещений с линией одного из проектируемых профилей. Светлый контур на картине 3D-смещений означает уровень ошибок определения вертикальных смещений для нивелирования II класса. Именно поэтому концевые пункты, которые закрепляются на местности фундаментальными реперами, вынесены не только за пределы границ горного отвода, но и за пределы контура ошибок наблюдений. Подобный подход позволяет с наибольшей эффективностью оценивать деформационные процессы, обусловленные исключительно режимом эксплуатации ПХГ.

В рамках объектного мониторинга за эксплуатацией КППХГ осуществляется промысловый контроль латеральной и вертикальной герметичности Калужского ПХГ путем замеров давлений и уровней в контрольных и наблюдательных скважинах.

Тушение лесных пожаров

Территория Калужского ПХГ покрыта высокоствольным лесом. Высота деревьев колеблется от четырнадцати до девятнадцати метров. Исключение составляют небольшие участки, прилегающие к автомобильным и железной дорогам, а так же к участку, на котором расположено управление Калужского ПХГ.

Успех борьбы с лесными пожарами во многом зависит от их своевременного обнаружения и быстрого принятия мер

по их ограничению и ликвидации. Большое значение для уменьшения последствий любых стихийных бедствий (в том числе и лесных пожаров) имеет своевременное оповещение о них населения, что позволит принять необходимые меры по защите людей и материальных ценностей. В зависимости от характера стихийного бедствия и условий его возникновения, население оповещается о нём штабом ГО по всем возможным каналам связи — радиовещанию, телевидению и с помощью звуковых сигналов.

Все приёмы и методы борьбы с лесными пожарами делятся на активные и пассивные. Активные методы обязательно предусматривают активное воздействие на кромку пожара, как непосредственное, так и косвенное. Непосредственное тушение целесообразно лишь тогда, когда по близости имеется достаточно воды или горение на кромке такое слабое, что его можно захлестать или забросать почвой. Во всех остальных случаях предпочтительнее косвенное тушение — отжиг.

В процессе тушения пожара выделяется 4 последовательных операции: остановка пожара, его локализация, окарауливание и дотушивание. Ликвидацию массовых лесных пожаров зачастую осложняют труднодоступность районов тушения и удаленность их от источников водоснабжения, нерациональность, а порой и невозможность привлечения автотранспорта для доставки воды. В то же время для осуществления противопожарных мероприятий потребность в ней может достигать нескольких тысяч тонн в сутки.

В настоящее время наиболее распространенными способами тушения лесных пожаров являются:

- ✧ захлестывание кромки,
- ✧ тушение грунтом,
- ✧ тушение водой,
- ✧ тушение химикатами,
- ✧ удаление горючих материалов с помощью отжига, взрыва или механическими средствами.

Потушить пожар класса А не требует особых приёмов. Зато пожары классов Б, В, Г и остальные требуют определенной тактики.

Опыт показывает, что в решении вопросов тушения пожаров классов Б, В, Г могут помочь полевые магистральные трубопроводы (ПМТ), состоящие на оснащении Вооруженных Сил Российской Федерации.

В зависимости от характера возгорания и состава леса пожары подразделяются на низовые, верховые, почвенные. Отдельно стоит рассматривать травяные пожары (сельскохозяйственные палы).

Наиболее часто в лесу возникают низовые пожары (рис. 6, 7) — это возгорания, при которых горят лесной опад, состоящий из мелких ветвей, коры, хвои, листьев; лесная подстилка, сухая трава; живой напочвенный покров из трав, мхов, мелкий подрост и кора в нижней части древесных стволов.

Засушливая погода и сильный ветер могут быть причиной возникновения и распространения верховых пожаров, при которых огнем охватываются деревья от корней до кроны, особенно деревья хвойных пород (рис. 8).

Возникновение и развитие верховых пожаров происходит от перехода огня низовых пожаров на кроны хвойных древостоев с низкоопушенными ветвями, в многоярусных с обильным подростом насаждениях, молодняках, а также

в горных лесах. Скорость верховых пожаров: устойчивого – 300-1500 м/ч (5-25 м/мин), беглого – 4500 м/ч и более (75 м/мин и выше), а под воздействием ураганного ветра достигать и 80 м/мин [4, 6].



Рис. 6. Низовой пожар.

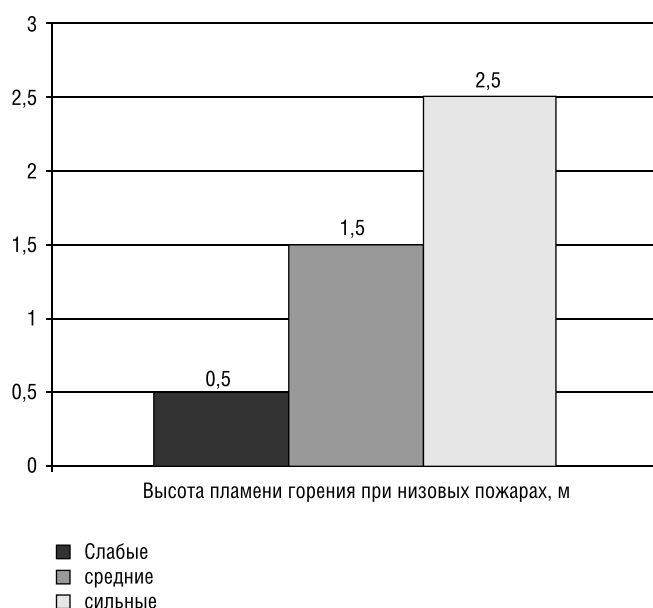


Рис. 7. Классификация низовых пожаров в зависимости от высоты пламени горения кромки.



Рис. 8. Верховой пожар.

На рисунке 9 приведена зависимость плотности лучистого теплового потока от ширины фронта лесного пожара.

Из рисунка видно, что воспламенение ближайшего дома происходит при ширине фронта 17 м.

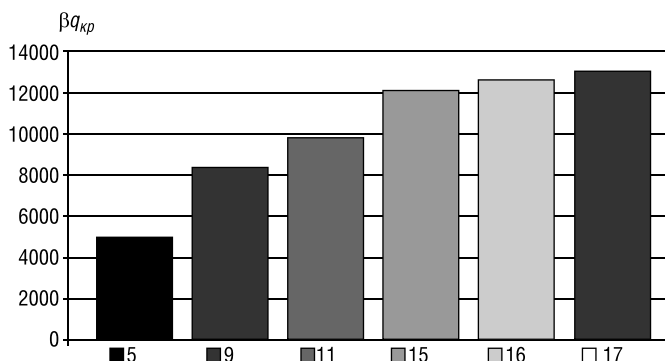


Рис. 9. Зависимость плотности теплового потока от ширины фронта пожара.

Расчет варианта для низового пожара

Математическое моделирование пожара позволяет нам выстроить более четкую схему тушения, привлечения необходимых на это сил и средств.

Используя формулы [6], позволят нам рассчитать промежутки времени от начала пожара до его непосредственного воздействия на здания и сооружения ПХГ электростанцию, находящуюся непосредственно у кромки леса и с другой стороны прилегающую к объекту.

Для расчета наиболее опасного варианта развития событий при пожаре лесного массива, возьмем здание ПХГ находящуюся вблизи лесного массива. Расчет заключается в определении времени, за которое пожар достигнет здания при нахождении источника горения на расстоянии 1, 5 и 10 километров от объекта. Мы будем учитывать влажность воздуха, наличие ветра и осадков, а так же коэффициенты: K_1 – учитывающего состояние атмосферы; K_2 – учитывающего влажность воздуха и пожарной нагрузки; K_3 – учитывающего влияние дождя; K_4 – учитывающего направление ветра [6, 7].

Результаты расчета времени от начала пожара до того как пожар дойдет до объекта защиты без учета дополнительных факторов представлены в таблице 1 и рисунках 10 и 11.

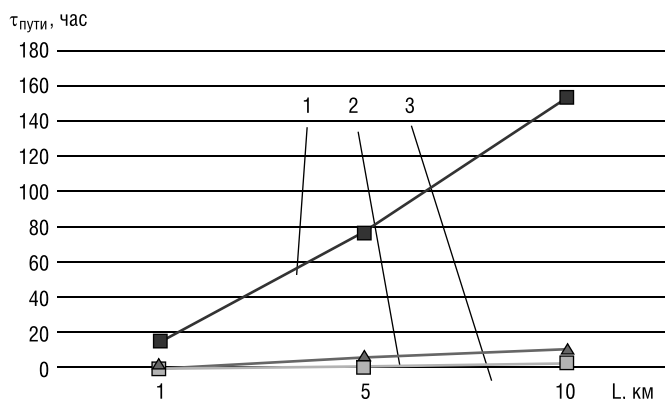


Рис. 10. Зависимость времени распространения кромки лесного пожара без учета возмущающих факторов до объекта: 1 - низовой пожар; 2 - верховой устойчивый пожар; 3 - верховой беглый пожар.

Из представленного выше рисунка 10 видно, что время пути пожара существенно зависит не только от расстояния

между объектом и начальной точки возгорания, но и от типа пожара.

Таблица 1

Результаты расчета времени от начала пожара распространения кромки лесного пожара до объекта без учета возмущающих факторов.

Расстояние до здания, L км.	Время, за которое пожар достигнет здания, $\tau_{\text{пути}}$ час.
Низовой	
1	15,38
5	76,92
10	153,85
Верховой устойчивый	
1	1,14
5	5,68
10	11,36
Верховой беглый	
1	0,18
5	0,89
10	1,79

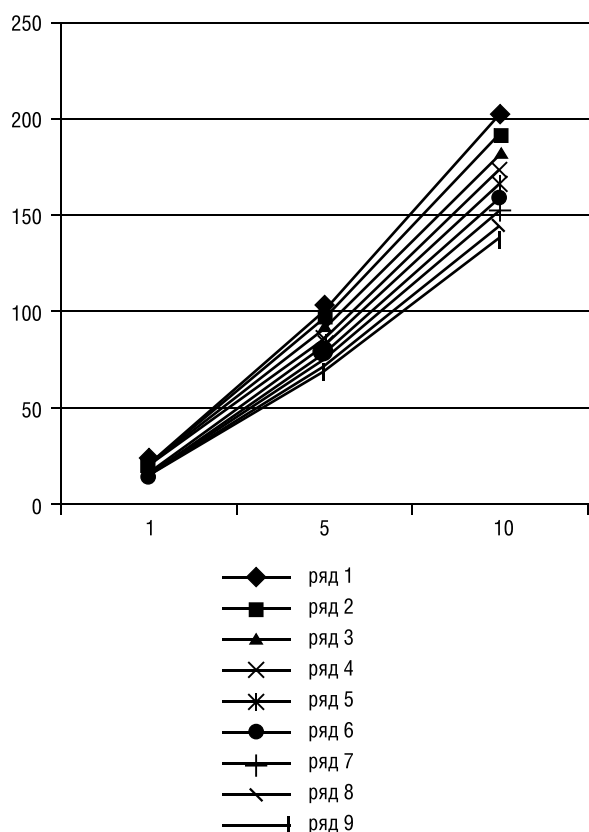


Рис. 11. Зависимость распространения низового пожара от времени с учетом коэффициента (K_1) учитывающего состояние атмосферы: Ряд 1 - при $K_1 = 0,758$; Ряд 2 - при $K_1 = 0,799$; Ряд 3 - при $K_1 = 0,839$; Ряд 4 - при $K_1 = 0,881$; Ряд 5 - при $K_1 = 0,923$; Ряд 6 - при $K_1 = 0,966$; Ряд 7 - при $K_1 = 1,009$; Ряд 8 - при $K_1 = 1,053$; Ряд 9 - при $K_1 = 1,098$.

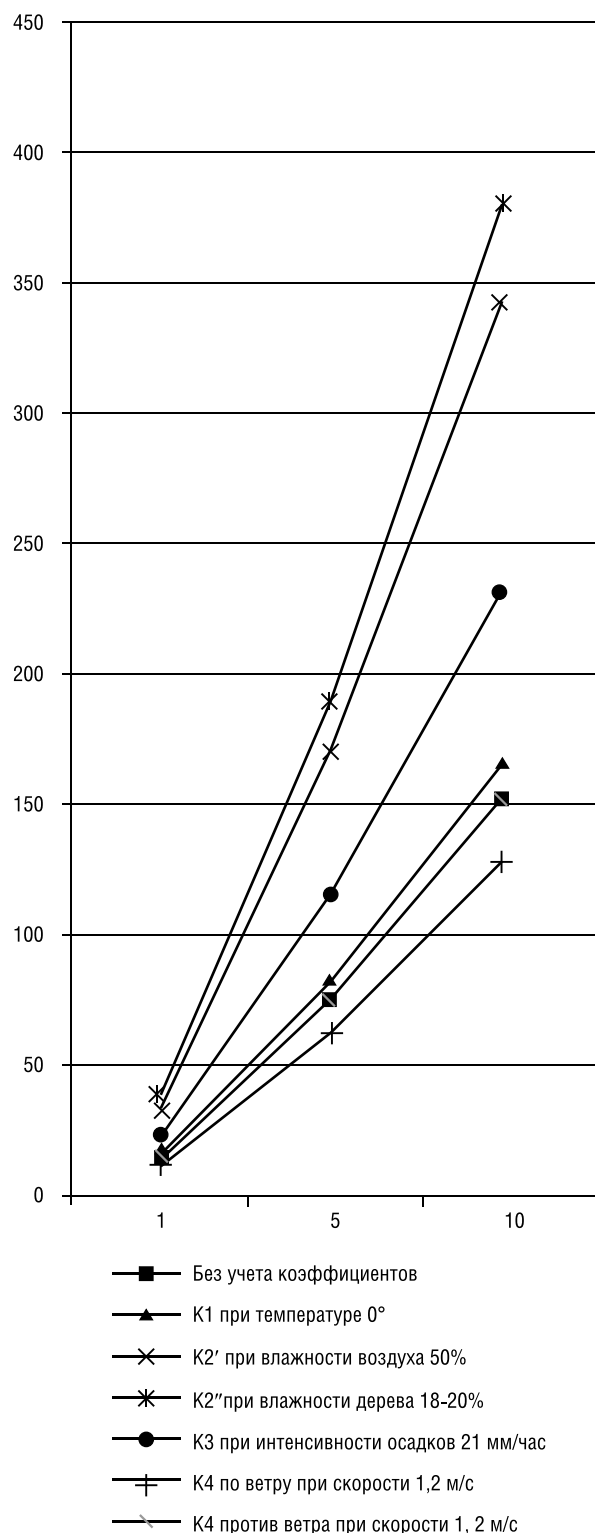


Рис. 12. Зависимость времени распространения кромки низового пожара с учетом каждого из коэффициентов.

Как пример, рассмотрим вариант распространения низового пожара учитывающего состояние атмосферы, расстояние между источником пожара и объектом, диапазон температур возьмем от -40°C до 40°C шагом в 10°C , соответственно к каждому из 9 вариантов температур возьмем своё атмосферное давление. С учетом выбранных величины температур и давления, а также результаты расчета коэффициента учитывающего состояние атмосферы (K_1), рассчита-

ем время пути низового пожара, верховой устойчивый и верховой беглый пожары рассчитывать не будем, т.к. для Калужской области в основном характерны низовые пожары, а в связи с быстрым реагированием служб, удастся во время пресечь и не дать низовому пожару перейти в верховой. Полученные результаты времени прохода кромки низового пожара к зданиям на *рисунке 11*.

Для расчета предела огнестойкости ближайшего здания необходимо будет прибавить ко времени пути до здания 0,25 час.

Проведенные расчеты показывают, какие из факторов нами рассмотренных наиболее сильно влияют на распространение пожара.

На *рисунке 12* были выбраны факторы которые способствуют распространению пожара, а какие наоборот его будут сдерживать. Эти данные могут в дальнейшем позволить более четко представлять, какие необходимы меры и средства при тушении пожара позволят сделать это более эффективно.

Предлагаемые мероприятия по защите объекта

Для защиты объекта, предотвращения воздействия лесного пожара на здания и сооружения ПХГ и посёлка наилучшим вариантом является минерализованная полоса.

Учитывая, что организация минерализованной полосы включает полную очистку слоя почвы от горючих материалов, работы по созданию (восстановлению) минерализованных полос подразумевает также вырубку деревьев и кустарников, попавших в зону прохождения минерализованной полосы, поэтому своевременные проведённые мероприятия по устройству минерализованных полос около ПХГ, которые расположены в лесном массиве или на его границе, позволят свести опасность распространения пожара на объектах ПХГ к минимуму [7; 9; 10].

Заключение

Скорости вертикальных смещений земной поверхности определяются на основании анализа и интерпретации данных измерений по циклам наблюдений.

Для обеспечения точности измерений необходимо совместить пункты геодезического полигона (грунтовые репера) и гравиметрические площадки, а концевые пункты вынести не только за пределы границ горного отвода, но и за пределы контура ошибок наблюдений. Подобный подход позволяет с наибольшей эффективностью оценивать деформационные процессы, обусловленные исключительно режимом эксплуатации ПХГ.

Измерения на геодезическом полигоне необходимо осуществлять 2 раза в год на этапах отбора из него и закачки в него газа.

Анализ лесных пожаров, пирологических характеристик, метеорологических и поражающих факторов пожаров, математической модели расчета параметров распространения пожаров дают возможность провести расчеты и увидеть, какие из факторов рассмотренных наиболее сильно влияют на распространение пожара, а какие наоборот его будут сдерживать.

Полученные результаты позволят предпринять наиболее эффективные действия по пожарной защите и разработать рекомендации по обеспечению безопасного и менее затратного способа защиты ПХГ с учетом параметров возможных пожаров.

Математическое моделирование пожаров позволяет также выстроить более четкую систему тушения пожара, применения необходимых сил и средств, при тушении пожаров любой сложности и интенсивности, выстроить защиту более эффективным и мало затратным способом, проанализировать ряд вариантов возникновения и тушения пожара без участия участников пожара. ■

ЛИТЕРАТУРА

1. Маркшейдерская энциклопедия. - М.: «Горная книга», 2006. - 605 с. (разделы: «Геодинамика», «Геодинамическая опасность», «Геодинамические последствия разработки месторождения нефти и газа», «Геодинамический мониторинг»).
2. ПБ 08-621-03 («Правила создания и эксплуатации подземных хранилищ газа в пористых пластах»).
3. Инструкция по производству маркшейдерских работ, РД 07-603-03 (утв. Постановлением Госгортехнадзора РФ от 06.06.2003г. №73);
4. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности. Федеральный закон № 123-ФЗ.
5. Арутюнов А.Е., Жуков В.С., Кузьмин Ю.О., Никонов А.И. Производственный мониторинг подземных хранилищ газа с целью обеспечения их геодинамической безопасности - Современная геодинамика недр и эколого-промышленная безопасность объектов нефтегазового комплекса. Материалы международной конференции - М.: ЗАО «Техинвест», 2005. - С.105-110.
6. Кошмаров Ю. А. Прогнозирование опасных факторов пожара в помещении: Учебное пособие. - М.: Академия ГПС МВД России, 2000. 118 с.
7. Пузач С.В., Ярошенко А.В., Кузнецов С.Л. Математическая модель распространения кромки природного пожара с учётом основных особенностей растительности, ландшафта местности и состояния атмосферы / Материалы двадцатой научно-технической конференции «Системы безопасности» - СБ-2011. - М.: Академия ГПС МЧС РФ, 2011. - с. 195-197.
8. Галкин П.В., Спиридонов П.В., Копылов А.А., Баженов С.А. Обеспечение пожарной безопасности на топливно-энергетических объектах посредством инженерно-геодезического контроля. Журнал «Маркшейдерия и недропользование». № 5 (109), - М., 2020. С.17-22.
9. <https://zen.yandex.ru/media/scifacts/podzemnye-hranilisca-gaza-pod-moskvoi-kak-oni-ustroyeny-i-kak-vse-nachinalos-5ef1c0bb5714d322c33b16a5>.
10. <http://www.seminarium.narod.ru/moip/lib/moskraev/zelenogr/birds/birds-99.html>.