

УДК 624.139.62:622.25

**ТИМ ван ХАЙДЕН, БЬЁРН ВЕГНЕР** (Компания «Тиссен Шахтбау ГмбХ», Германия)

## СОВРЕМЕННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ЗАМОРАЖИВАНИЯ ПОРОД НА ПРИМЕРЕ ДВУХ ОБЪЕКТОВ, НАХОДЯЩИХСЯ НА СТАДИИ СТРОИТЕЛЬСТВА, СОСТОЯЩИХ ИЗ ПЯТИ ВЕРТИКАЛЬНЫХ ШАХТНЫХ СТВОЛОВ\*



**ТИМ ван ХАЙДЕН,**  
руководитель проекта,  
начальник отдела  
замораживания пород



**БЬЁРН ВЕГНЕР,**  
инженер проекта

«Тиссен Шахтбау ГмбХ», Германия

### Введение

Если выполнение проходческих работ необходимо осуществлять в водоносных и неустойчивых породах, специальный способ замораживания является единственно возможной и хорошо калькулируемой технологией для надежной проходки ствола. Водоносные горизонты замораживают с помощью замораживающих колонок. Таким образом, происходит стабилизация и герметизация породного массива.

В Российской Федерации проявляют огромный интерес к компании «Тиссен Шахтбау ГмбХ» («ТШ»), которая в течение пяти последних лет оказывает услуги по замораживанию породного массива при строительстве шахтных стволов в России. В рамках повышенного спроса произошло серьезное и одновременно новаторское развитие технологии, которая позволяет осуществить строительство шахтных стволов с применением специального способа замораживания даже в самых неблагоприятных геологических и геотехнических условиях.

При этом компания «ТШ» решает целый ряд новых и сложных задач. Так, прежде чем оборудование начнет работать, нужно по-

ставить из Германии в Россию множество комплектующих деталей замораживающей установки, преодолеть тысячи километров. После доставки оборудования на место его необходимо установить, выполнить монтаж и ввести в эксплуатацию. Часто эти работы выполняются в экстремальных погодных условиях. От команды специалистов требуются мобильность и выдержка, чтобы организовать и поддерживать режим работы замораживающего оборудования в зачастую отдаленных, с недостаточно развитой инфраструктурой регионах.

Компании «ТШ» удалось преодолеть эти барьеры и впервые в мировой практике достичь глубины замораживания 820 м.

Впервые в соответствии с заданием заказчика компания «ТШ» смогла реализовать процесс искусственного размораживания (искусственного оттаивания), что позволило, в сравнении с естественным размораживанием, значительно сократить продолжительность строительства двух калийных стволов в Пермском крае.

### Проекты

**Мировой рекорд: замораживание породного массива до глубины 820 м для трех калийных стволов в Волгоградской области**

В 2008 г. компания «ТШ» получила подряд от российского химического и горнодобывающего концерна «ЕвроХим» на замораживание пород с целью проходки и строительства скипового ствола № 1 Гремячинского ГОКа. В начале 2010 г. для замораживания пород скипового ствола № 1 до глубины 520 м была введена в эксплуатацию замораживающая станция, состоящая из десяти морозильных машин контейнерного типа, общей мощностью ~4,5 тыс. кВт.

Спустя два года после начала замораживания и после того как ствол был пройден до глубины 560 м, на основании новых геологических данных заказчик принял решение о заморажива-

© ван Хайден Тим, Вегнер Бьёрн, 2014

\* Доклад по теме данной статьи был сделан авторами в сентябре 2014 г. на Международном шахтостроительном коллоквиуме во Фрайберской горной академии, Германия. Статья была опубликована в сборнике конференции на немецком и английском языках.



**Мобильный блок замораживающей станции мощностью 10 МВт. Гремячинский ГОК, Волгоградская область, РФ**

нии породного массива до глубины 820 м. После тщательной проверки технических возможностей было принято решение о создании контура замораживания большего диаметра. Замораживающие колонки этого контура достигли глубины 820 м.

Во избежание роста ледопородного ограждения (ЛПО) и, как следствие, нагрузок на уже возведенную тубинговую крепь в данном интервале глубин, замораживающие колонки были изолированы до глубины 600 м. Эта мера позволила ускорить процесс замораживания породного массива на участке от 600 до 820 м. Забой ствола на сегодняшний день находится на глубине 800 м. Это свидетельствует о наличии статически надежного и водонепроницаемого ЛПО.

На основании положительного опыта заказчик принял решение о проходке двух других стволов (клетевого и скипового № 2) с применением специального способа замораживания. Компания «ТШ» получила подряд на выполнение работ по бурению замораживающих скважин и замораживанию породного массива до глубины 820 м на всех трех стволах глубиной ~1200 м каждый. На клетевом стволе проходческие работы были начаты через 21 мес после начала замораживания, в настоящий момент пройдено ~300 м. Скиповой ствол № 2 пройден до глубины ~130 м.

Благодаря применению современных инновационных технологий стало возможным организовать одновременное замораживание двух новых стволов, а также замораживание по второму контуру скипового ствола № 1 до рекордных глубин. Таким образом, в рамках данного проекта введено в эксплуатацию замораживающее оборудование холодопроизводительностью 10 МВт, обеспечивающее четыре контура замораживания на трех стволах.

**Иновация: искусственное размораживание двух калийных стволов в Пермском крае**

Через 20 мес после начала замораживания двух калийных стволов Усольского калийного комбината в Пермском крае компания «ТШ» успешно применила на практике метод искусственно-

го размораживания породного массива обоих стволов. Информационные данные предыдущих проектов свидетельствуют о том, что естественное размораживание — это очень длительный процесс, продолжающийся годами.

В данном проекте продолжительность размораживания составила 6 мес. Таким образом, заказчик смог раньше начать работы по гидроизоляции ствола способом тампонажа затрубного пространства на оттаявших участках и достичь существенного ускорения ввода в эксплуатацию данных стволов.

В короткие сроки, с незначительными затратами существующую замораживающую станцию переоснастили на режим работы, позволяющий как замораживать, так и размораживать породный массив. Основные компоненты замораживающей установки можно было использовать и в дальнейшем, например трубопроводы, насосы, системы управления и регулирования, а также измерительное оборудование. Даже хладоноситель (300 м<sup>3</sup>), который находился в системе и использовался для замораживания породного массива, был использован в дальнейшем в качестве теплоносителя. Во избежание возникновения напряжений в породном массиве и крепи ствола, а также в самой замораживающей/оттаивающей установке, возникающих при больших перепадах температур, температуру теплоносителя постепенно повышали от -38 °С (рабочая температура замораживания) до +20 °С (температура искусственного размораживания).

**Буровые работы и устройство технологической обсадки замораживающих скважин**

Замораживающие скважины, необходимые для создания замкнутого ледопородного ограждения, должны быть пробурены с высокой точностью по вертикальности. Слишком большое расстояние между отдельными трубами отдельных замораживающих колонок может привести к ослаблению ЛПО, а также к образованию так называемых окон. Как следствие, на данном участке ЛПО не будет замкнуто, и будет нестабильным и не герметичным.

Бурение осуществлялось с применением направленного бурения и способом измерения вертикальности скважин во время бурения (MWD). Данный способ позволяет в процессе бурения контролировать направление скважины и при необходимости корректировать его.

Поскольку замораживающие колонки расположены друг от друга на расстоянии ~1,3 м, образуется сравнительно небольшой радиус допуска по вертикальности ~0,6 м для каждой отдельной скважины. На глубине бурения 820 м компании «ТШ» удалось остаться в рамках данного допуска на каждой замораживающей скважине, что было подтверждено не только измерениями в процессе бурения, но и окончательной проверочной инклинометрией, выполненной гироскопом в обсаженных трубами скважинах. Буровые работы проводились буровыми установками RB 50. Обычно задействовали две буровые установки, но в некоторых ситуациях одновременно работали и тремя машинами на одном стволе.

В обсаженные скважины были установлены полиэтиленовые трубы для циркуляции хладоносителя.



## Превосходство практического опыта с 1871 года

- Вскрытие месторождений полезных ископаемых
- Проходка шахтных стволов, штреков и сопряжений
- Строительство горнодобывающих предприятий и промышленных объектов под ключ
- Поставка подъемного и горно-шахтного оборудования
- Работы по цементации и замораживанию горных пород
- Бурение скважин большого диаметра
- Разведочное и направленное бурение
- Бурение замораживающих скважин
- Бурение и обсадка скважин рассолопромыслов
- Проектно-конструкторские работы



**THYSSEN  
SCHACHTBAU**

ТИССЕН ШАХТБАУ ГМБХ  
Sandstraße 107 - 135  
D-45473 Mülheim an der Ruhr  
Telefon +49 208 3002-281  
Telefax +49 208 3002-395  
[www.thyssen-schachtbau.com](http://www.thyssen-schachtbau.com)  
[info@ts-gruppe.com](mailto:info@ts-gruppe.com)



Россия

ТИССЕН МАЙНИНГ КОНСТРАКШЕН ИСТ  
ООО

Представительство в России  
Адрес:  
Россия,  
107031, г. Москва,  
ул. Петровка, д.27, вход №2

Тел : +7 905 999 58 31  
E-Mail: [info@ts-gruppe.com](mailto:info@ts-gruppe.com)  
[www.thyssen-schachtbau.com/ru](http://www.thyssen-schachtbau.com/ru)



Австрия

ТИССЕН ШАХТБАУ ГМБХ

Представительство в Австрии  
Адрес:  
Petersgasse 128a  
A-8010 Graz  
Австрия/ÖSTERREICH

Тел : +43 664 225 28 45  
E-Mail: [info@ts-gruppe.com](mailto:info@ts-gruppe.com)  
[www.thyssen-schachtbau.com/ru](http://www.thyssen-schachtbau.com/ru)



Казахстан

ТОО ТИССЕН ШАХТБАУ

Представительство в Казахстане  
Адрес:  
100017, Караганда,  
ул. Мустафина 7/2  
Казахстан/KASACHSTAN

Тел : +7 777 007 31 70  
E-Mail: [info@ts-gruppe.com](mailto:info@ts-gruppe.com)  
[www.thyssen-schachtbau.com/ru](http://www.thyssen-schachtbau.com/ru)



### Замораживающая станция и оборудование размораживания

Для процессов замораживания и размораживания было применено самое современное оборудование в контейнерном исполнении. Контейнеры можно перевозить автомобильным транспортом, по железной дороге или морским путем. Комбинация оборудования с воздушным и водяным охлаждением позволяет применять его во всех климатических зонах. Компания «ТШ» может применять данное оборудование как в условиях суровой продолжительной зимы на севере России, так и в условиях жаркого засушливого лета на юге страны. Это относится и к оборудованию для размораживания. Оно также выполнено в контейнерном варианте, чтобы после завершения процесса замораживания можно было без больших затрат на монтаж заменить контейнеры для замораживания контейнерами для размораживания.

В настоящее время в России находятся в эксплуатации 19 замораживающих агрегатов компании «ТШ». Каждый контейнер в соответствии с типом исполнения оснащен от одного до шести мощными винтовыми компрессорами. Таким образом, обеспечивается высокая безопасность эксплуатации. Холодопроизводительность можно привести в соответствии с предлагаемыми производственными условиями. Для эксплуатации, технического обслуживания, контроля оборудования на месте «ТШ» привлекает собственный квалифицированный персонал — электриков, специалистов замораживающих и измерительных технологий. Эксплуатационная команда на месте состоит из немецких и российских сотрудников. Часть морозильного оборудования работает в режиме «экономайзер», позволяющая регулировать производительность компрессора в зависимости от внешних температур. Таким образом, для каждого времени суток и времени года всегда установлена оптимальная производительность компрессора. С учетом большого объема потребляемой электроэнергии в процессе замораживания, аспект чувствительной регулировки мощности очень важен для заказчика.



Насосы циркуляции хладоносителя

### Измерительная техника, учет и обработка данных

Измерительное оборудование, а также оборудование для регистрации и обработки данных являются важными элементами при строительстве шахтных стволов с применением технологии замораживания. Только точное и надежное измерительное оборудование в сочетании с оборудованием для регистрации и обработки данных гарантируют надежный предварительный расчет распространения замораживания, наблюдение за развитием ЛПО, позволяют в случае необходимости скорректировать параметры оборудования. Имеющийся у нас огромный архив данных позволяет заниматься обработкой других проектов. Замораживающим оборудованием компании «ТШ» можно управлять централизованно с диспетчерского пульта. Можно организовать дистанционный доступ по всему миру.

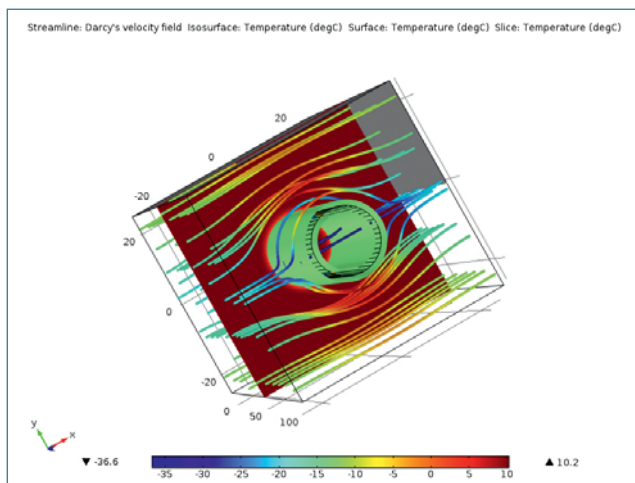
Оборудование круглосуточно находится под наблюдением наших сотрудников на месте, дистанционную поддержку оказывают коллеги из головного офиса компании, расположенного в г. Мюльхайме (Германия), чтобы в случае неполадок можно было принять соответствующие меры. Сообщения о неполадках через мобильную сеть сразу передаются ответственному сотруднику, что значительно сокращает время реагирования. В диспетчерских все текущие данные объединяют и архивируют в электронном виде несколько раз в сутки. Наряду с приборами, фиксирующими скорость потока, давление, температуру в трубопроводах, расположенных как на поверхности, так и под землей, с помощью радара контролируется уровень заполнения в компенсационном резервуаре. Производятся замеры параметров всех машин и насосов, данные визуализируются на экране монитора. Особым, очень важным измерительным инструментом является оптоволоконный кабель: с его помощью производятся замеры температуры породного массива. Преимущество оптоволоконного кабеля заключается в том, что с его помощью можно измерить температуру породного массива в любой точке по всей длине скважины.

В четырех точках, расположенных на разном расстоянии от оси ствола, бурят контрольно-термические скважины. Их также заполняют хладоносителем для создания соединения стенки трубы с породным массивом. Еще до начала замораживания с помощью датчика температуры получают важные данные о состоянии породного массива. Таким образом, создается температурный профиль, являющийся основой для дальнейших расчетов.

Поскольку контрольно-термические скважины распределены вокруг ствола, обеспечивается практически всесторонний контроль температуры в замороженной части ствола. Особые воздействия, например потоки подземных вод, не остаются незамеченными в процессе развития температур, поэтому могут быть учтены при проведении анализа.

### Цифровая модель улучшает качество прогноза

Во времена растущих требований к технологиям и экономике проектов растут и требования к прогнозу определенных производственных процессов. Естественно, это относится и к процессам замораживания/размораживания при строительстве шахтных стволов. Поскольку при замораживании речь идет о комплексном



**Цифровая модель замораживающих колонок в водоносном горизонте**

влиянии различных физических воздействий, компания «ТШ» разработала цифровую модель, в частности для таких ситуаций, когда разные воздействия являются непостоянными, влияют на всю систему, моделирование является обязательным инструментом управления.

Объем потока в замораживающих колонках, пульсирующий режим замораживания, смена режима замораживания режимом размораживания, притоки подземных вод, вентиляция шахтного ствола, бетонные работы в забое ствола являются воздействиями, которые можно учесть в цифровой модели.

**Обзор**

Компания «Тиссен Шахтбау ГмбХ» идет в будущее с инновационными технологиями. Несмотря на очень высокие требования, все предыдущие проекты были выполнены к полнейшему удовлетворению заказчика. Компания «Тиссен Шахтбау ГмбХ» приняла высокие требования, предъявляемые к выполнению данных проектов, успешно выполнила их, и потому полностью подготовлена для реализации будущих проектов. Одновременно ведется постоянная работа по оптимизации нашего оборудования и методов расчета, в частности для повышения точности прогнозов и в конечном итоге для экономически выгодной работы в интересах заказчика. [ДЖ](#)

*Тим ван Хайден,  
+7-906-173-20-50,  
vanHeyden.Tim@ts-gruppe.com*

**MODERN SHAFT FREEZING TECHNOLOGY IMPLEMENTED IN TWO BIG SHAFT SINKING PROJECTS WITH TOTAL 5 SURFACE MINE SHAFTS ARE BEING CONSTRUCTED**

**Tim van Heyden**<sup>1</sup>, Head of a Project, Head of Rock Freezing Department  
**Bjarn Vegner**, Project Engineer

<sup>1</sup> Thyssen Schachtbau GmbH (Germany)

Thyssen Schachtbau GmbH (TS) from Muelheim an der Ruhr (Germany) has been for five years intensively developing its business presence in the Russian Federation in the field of shaft sinking, drilling and freezing. At the moment various shaft sinking and freezing projects can be implemented for complete pleasure of our Customers. There are two especially remarkable projects in the Regions of Perm and Volgograd, performed by TS under a contract with the Russian chemical and mining corporation "EuroChem". In the Region of Perm two vertical surface shafts of Usolski Potash Mine were sunk as frozen shafts. In addition to the shaft sinking technique TS was the first to use the innovative shaft thawing for fast temperature equalizing after shaft lining injection ("tamponage") and time schedule progress.

Three shafts were frozen down to a world record of 820 m deep in the Region of Volgograd, at the potash mine of Gremyachinsky GOK. In the course of past and current projects TS has been successfully and most reliably implementing the wishes of our Customers due to up-to-date techniques of shaft sinking, freezing and thawing. In future TS is planning to go on with technical development of equipment and calculation methods to be capable of realizing most challenging projects.

**Key words:** shaft sinking, ground freezing, directional drilling, artificial thawing, optical transmission system, EuroChem, Gremyachinsky GOK, Usolski Potash Mine.