

DBE TECHNOLOGY: ОПЫТ И ТЕХНИЧЕСКИЕ ВОЗМОЖНОСТИ

TECHNICAL CAPABILITIES AND EXPERIENCE OF DBE TECHNOLOGY

Г.Х. НИДЕР-ВЕСТЕРМАНН,
Э. БЫОРРУН,
В. БОЛЛИНГЕРФЕР
(*DBE Technology*)

G.H. NIEDER-WESTERMANN,
E. BIURRUN,
W. BOLLINGERFEHR
(*DBE Technology*)

■ Государственная компания DBE была основана в 1979 году по инициативе федерального правительства Германии в качестве эксклюзивного поставщика комплексных услуг по созданию и эксплуатации хранилищ отходов атомной промышленности. DBE представляет данные услуги Федеральному агентству по радиационной защите (BfS), действующему от имени федерального Министерства защиты окружающей среды, охраны природы и ядерной безопасности (BMU) и несущему ответственность за организацию сооружения и эксплуатацию геологических хранилищ РАО.

В 2000 году была создана компания DBE Technology – дочернее предприятие, 100% акций которого принадлежит DBE. Его задачей является использование уникальных возможностей и опыта компании на отечественном и международном коммерческих рынках. Сегодня DBE Technology аккумулирует опыт научных исследований и инженерные навыки, приобретенные за 30 лет реализации немецкой программы захоронения ядерных отходов.

ЗАХОРОНЕНИЕ РАО В ГЕРМАНИИ

В настоящее время в Германии ведутся три проекта по захоронению радиоактивных отходов с незначительным остаточным тепловыделением (площадки «Конрад», «Ассе» и «Морслебен») и один для РАО с высоким уровнем тепловыделения и отработавшего ядерного топлива («Горлебен»). Площадка «Конрад» (бывший железный рудник) лицензирована и в настоящее время готовится к приему низко- и средненактивных отходов, который должен начаться в 2013 году. Объекты «Ассе» и «Морслебен» находятся в стадии консервации в соответствии с немецким атомным законодательством. На объекте «Горлебен» после десятилетнего перерыва возобновлены работы по характеризации площадки.

DBE несет ответственность за проектирование, сооружение и эксплуатацию немецких хранилищ РАО, включая объекты «Конрад», «Морслебен» и в будущем, возможно, «Горлебен». Хранилище «Ассе» ранее классифицировалось как исследовательская площадка, соответственно, оно не попадает под юридическую ответственность BfS и не эксплуатируется компанией DBE.

■ In 1979 the German Company for the Construction and Operation of Waste Repositories (DBE) was specifically founded by the German federal government as an exclusive engineering service provider for nuclear waste repositories. DBE provides these services to the Federal Office for Radiation Protection (BfS), which on behalf of the Federal Minister of the Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety (BMU) is responsible for the construction and operation of geologic repositories for radioactive waste.

In 2000 DBE Technology was purposefully established, as a 100-percent owned subsidiary of DBE in order to concentrate and expand the company's unique capabilities and make these available to others in both national and international markets. Today, DBE Technology provides the engineering and scientific skills garnered from over 30 years of hands-on, innovative experience in the German nuclear waste disposal program.

GERMAN RADIOACTIVE WASTE DISPOSAL

There are currently three radioactive waste repository projects for waste with negligible heat generation (Konrad, Asse and Morsleben) and one for heat generating wastes and spent nuclear fuel (Gorleben) in Germany. Konrad, the site of a former iron ore mine, has been licensed and is currently being converted to receive low-level waste (LLW) and intermediate-level waste (ILW), nominally beginning in 2013. The facilities at Asse and Morsleben for wastes with negligible heat generation (i.e., LLW and ILW) are being closed in accordance with German atomic law. At Gorleben site characterization activities have been restarted.

DBE is responsible for the design, construction, and operation of repositories for radioactive waste in Germany, including the Konrad, Morsleben, and the potential facility at Gorleben. Asse was previously classified as a research facility and thus did not fall under the purview of the BfS and therefore DBE's area of legal authority.

REPOSITORIES FOR WASTE WITH NEGLIGIBLE HEAT GENERATION

In Germany, research and experimental work on LLW disposal began with the initiation of the research facility at the former Asse salt mine in 1967. Experimental work

**ХРАНИЛИЩА ОТХОДОВ
С НЕЗНАЧИТЕЛЬНЫМ
ОСТАТОЧНЫМ
ТЕПЛОВЫДЕЛЕНИЕМ**

С созданием исследовательского объекта в бывшем соляном руднике «Ассе» в 1967 году в Германии начались исследовательские и экспериментальные работы по захоронению НАО. Экспериментальные работы по захоронению САО были начаты здесь летом 1972 года и продолжались вплоть до окончания загрузки хранилища в 1978 году; в общей сложности были загружены 125787 упаковок с РАО (HZM, 2010). С середины 1980-х годов и до конца XX века DBE участвовала в изучении воздействия тепловыделения РАО на каменную соль, играющую роль вмещающей породы на площадке «Ассе». Исследования выполнялись в углубленных участках хранилища, в соответствии с принятой в Германии концепцией захоронения отходов такого типа, на удалении от действующих участков хранения.

Работы на площадке «Морслебен» были начаты еще во времена ГДР и после воссоединения Германии возобновлены силами DBE под надзором BfS. За время эксплуатации объекта в 1971-1998 годах в нем было захоронено в общей сложности около 36800 м³ радиоактивных отходов, в том числе примерно 6600 отработавших закрытых радиоактивных источников (Wernicke, 2006). Заявка на получение лицензии на консервацию объекта направлена в регулирующий орган, в настоящее время ожидается ее утверждение.

Работы по проекту «Конрад» (рис. 1) начались в 1982 году. DBE подготовила заявку на получение лицензии с комплектом документации, в том числе рабочим проектом всех надземных и подземных сооружений, технологического оборудования для обращения, транспортировки и захоронения отходов, технологическим регламентом и обоснованиями безопасности (NMU, 2002). Лицензия была выдана 26 марта 2007 года; в настоящее время идут работы по перепрофилированию этого бывшего рудника в объект захоронения РАО.

**ПРОЕКТ ХРАНИЛИЩА ДЛЯ РАО С ВЫСОКИМ
ТЕПЛОВЫДЕЛЕНИЕМ**

В 1977 году площадка «Горлебен» была выбрана для дальнейшего изучения в качестве возможного места захоронения РАО с высоким тепловыделением. После основания компании DBE была начата широкомасштабная программа исследований поверхности этой территории. Получив положительные результаты, специалисты DBE спроектировали и построили в 1986 году разведочную шахту. С 2000 по 2010 год работы на площадке были приостановлены в результате введен-



Рис. 1. Ствол № 1 бывшей железнорудной шахты на площадке «Конрад»
Fig. 1. Former Mining Facilities at the Konrad Shaft 1 Site (Bollingerfehr et al., 2008)

on remotely handled ILW disposal started in the summer of 1972 and continued until waste disposal practices were ended in 1978, by which time 125,787 waste packages had been stored (HZM 2010). From the mid 1980's to the end of the 20th century DBE was involved in studying the effects of heat-generating waste on salt, as a host-rock formation at Asse. The studies were conducted in deeper regions of the repository, consistent with the German concept for disposal for these waste, and away from storage areas.

The Morsleben facility was initiated under the former German Democratic Republic and was assumed by the BfS after reunification and assigned to DBE. During its' period of operation from 1971 through 1998 a total of about 36,800 m³ of radioactive waste, including about 6,600 spent sealed radiation sources, was disposed of in the facility (Wernicke 2006). The license application for permanent closure has been submitted to the licensing authority and is currently awaiting approval.

Development of the Konrad repository (Fig. 1) project started in 1982. DBE prepared the license application and supporting documents, including the detailed design of all surface and underground facilities; waste handling, transportation, and disposal equipment and procedures; and preparation of the operational safety documents (NMU 2002). The facility received final approval on March 26, 2007 and the conversion process of the former iron ore mine is currently ongoing.

REPOSITORY PROJECT FOR HEAT GENERATING WASTE

Following the selection of the Gorleben site in 1977 for investigation as a potential repository for heat generating waste, and the establishment of DBE, a comprehensive surface-based investigative program was initiated. Based on the positive indications from these studies, an exploration mine was designed and constructed by DBE in 1986. From 2000 through 2010 investigative activities at Gorleben were suspended by the federal government as

1. Вход в здание №1 / Entrance building 1
2. ТЭЦ и сушильное отделение
Heating plant and dry rooms
3. Офисные и социальные объекты
Offices and social buildings
4. Шахта №1 / Shaft 1
5. Вход в здание №2 / Entrance building 2
6. Шахта №2 / Shaft 2
7. Склад взрывчатых веществ и оборудования
Magazine and equipment storage
8. Топливохранилище / Fuel storage
9. Насосная станция (использованной и чистой воды)
Pumping station (fresh and waste water)
10. Передатчик электротока
Electric power transmission
11. Дренажная насосная станция
Drain water pumping station
12. Метеостанция / Weather monitoring station
13. Диффузор (распылитель, вентиляционная решетка)
Diffusor
14. Вход в шахту №2 / Shaft hall shaft 2
15. Разгрузочная станция / Shipment - arrival
16. Технические помещения и лаборатории
Technical offices, laboratories
17. Осушительное помещение / Drying hall
18. Железнодорожное полотно / Rrailway

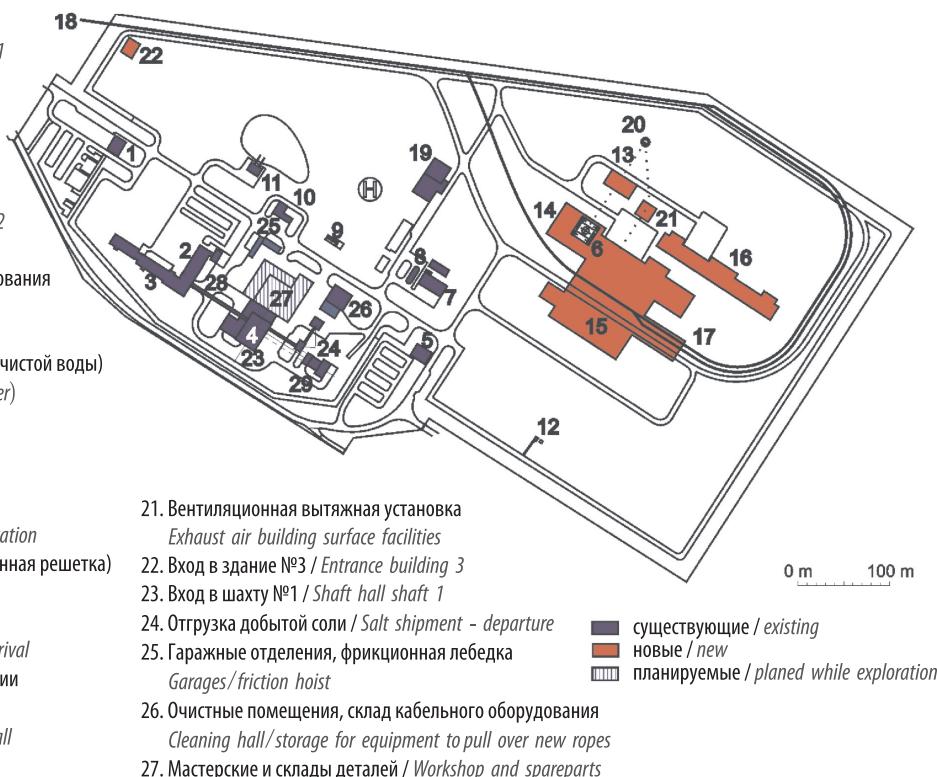


Рис. 2. Имеющиеся и планируемые наземные сооружения на площадке «Горлебен»
Fig. 2. Current and Planned Surface Facilities at the Gorleben Repository Site (Engelmann and Filbert 1998)

ного федеральным правительством моратория на исследования такого рода. В октябре 2010 года возобновлены работы по характеризации площадки и подготовке лицензионной заявки.

Еще в 1980-1990-х годах на площадке «Горлебен» было выполнено множество исследований соляного свода. До введения моратория, помимо подземного исследовательского объекта, здесь также было построено множество наземных сооружений (рис. 2). Уникальность площадки состоит в том, что значительная часть работ по ее характеризации и созданию наземной инфраструктуры уже выполнена. Из всех площадок, которые в настоящее время рассматриваются для размещения объектов захоронения РАО, «Горлебен» по-прежнему остается одной из наиболее технически развитых.

УЧАСТИЕ В МЕЖДУНАРОДНЫХ ПРОЕКТАХ

Помимо опыта, полученного в результате выполнения собственных проектов и совместных исследовательских программ в подземных лабораториях «Мон-Терри» и «Буре» (глинистые и аргиллитовые породы), а также «Гримзель» и «Еспо» (гранит), DBE Technology разработала ряд концепций геологических хранилищ для разных видов отходов в различных вмещающих породах. Совместно с российскими партнерами компания приняла участие в проработке концепций захоронения ВАО в кристаллических породах и приповерхностного захоронения НАО в глинистых формациях. DBE Technology заключила контракты с Агентством по обращению с радиоактивными отходами и обогащенными делящимися материалами Бельгии (ONDRAF/NIRAS) и канадским Агентством по обращению с ядерными от-

частиями (NWMO) по разработке концепций захоронения радиоактивных отходов в глинистых и кристаллических породах.

Already in the 1980s and 1990s, considerable effort had been invested in the investigations of the Gorleben salt dome. In addition to the subsurface research facility much of the surface installations were also completed prior to the imposition of the moratorium (Fig. 2). For this reason the facility at Gorleben is unique in that much of the site characterization and surface infrastructure work has already been completed. Gorleben remains one of the most technically advanced potential repository sites currently under consideration.

INTERNATIONAL PROJECT EXPERIENCE

In combination with in-house expertise and experiences gained in research projects conducted in the underground laboratory facilities at Mont Terri and Bure (clay and clay-stone) and at Grimsel and Äspö (granite), DBE Technology has developed geologic disposal concepts for various waste forms in differing host rocks. Together with their Russian partners the company has developed mature concepts for both HLW repositories in crystalline rock and for near-surface disposal of LLW in clay. DBE Technology has been contracted by the Belgian Agency for Management of Radioactive Waste and Enriched Fissile Materials (ONDRAF/NIRAS) and by the Canadian Nuclear Waste Management Organization (NWMO) to review and optimize their repository concepts for clay and limestone, respectively.

Since its founding DBE Technology has provided expert support to an extensive list of international partners, including, the Czech Republic, France, Japan, Romania, Slovenia, and the Ukraine, among others.

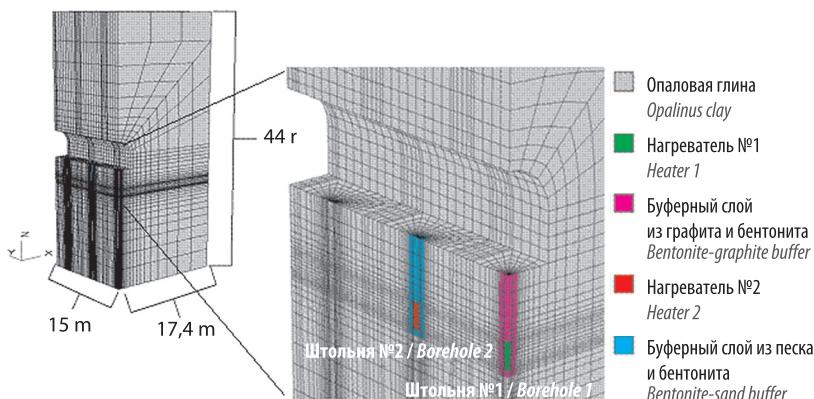


Рис. 3. Численная модель для расчетов: размеры и материалы / Fig. 3. Numerical Model used for THM Calculations – Model Dimensions and Materials (Wolf et al., 2009)

ходами (NWMO) на оказание содействия в оптимизации концепций захоронения РАО, соответственно, в глинистых формациях и известняковых породах.

Со времени своего основания компания DBE Technology оказывала экспертные услуги целому ряду партнеров из зарубежных стран, в том числе из Чехии, Франции, Японии, Румынии, Словении, Украины и т.д.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ОБЪЕКТОВ ЗАХОРОНЕНИЯ

Компания DBE Technology использует программный пакет TOUGH2, а также другое программное обеспечение (в том числе собственные разработки) для создания современных компьютерных моделей, описывающих различные сложные гидрогеологические процессы, протекающие как в естественных, так и в нарушенных условиях. В их числе миграция газообразных и жидких сред, процессы и механизмы переноса радиоактивных частиц, термохимические взаимодействия природных и техногенных материалов и т.д. Такие параметры, как устойчивость геологической среды, механическая прочность, сейсмические реакции и состыкованность входных отверстий выработок, контролируются специалистами компании в натурных условиях, а затем анализируются научно-техническим персоналом с использованием кода FLAC3d, а также другого программного обеспечения, в том числе собственного. На рисунке 3 представлен пример трехмерной численной компьютерной модели, используемой для оптимизации теплового режима хранения в глинистой формации. Результаты моделирования процессов оцениваются и анализируются с учетом естественных свойств породы и характеристик инженерных барьеров и систем хранилища; в результате дается прогноз общей ситуации на площадке. Для моделирования возможных радиационных воздействий на людей и окружающую природную среду в нормальных и аварийных условиях используется программный пакет GoldSim.

MODELLING OF REPOSITORY SYSTEMS

DBE Technology uses TOUGH2 and other commercial and proprietary software to develop state-of-the-art computer models used to understand, describe, and simulate complex hydrogeologic processes under both natural and perturbed conditions; including gaseous- and liquid-phase migration, and radionuclide transport processes and mechanisms; thermo-chemical interactions between natural and introduced materials; and other related processes. Rock stability, mechanical strength, seismic responses, and convergence of tunnel openings are monitored in the field and evaluated by DBE Technology scientific staff using FLAC3d as well as other commercial and proprietary codes. Figure 3 presents an example of a 3D numerical model used for optimizing the thermal design for a repository in clay. Process model results are abstracted and evaluated in conjunction with the natural features and engineered structures and systems of the repository as part of total system performance assessments using GoldSim to simulate potential radioactive doses to humans and the environment under both expected and unlikely event scenarios.

REPOSITORY SYSTEMS AND EQUIPMENT DEVELOPMENT

The German Atomic Energy Act and related regulations require that only proven technologies be considered in repository designs and submitted as part of a license application. Starting with the conceptual repository design, design requirements for all required systems and components are developed, constructed at a 1:1 scale, and iteratively tested through completion of the final design and approval of the license application. DBE together with DBE Technology have devised and conducted several one to one scale tests to demonstrate the feasibility and



Рис. 4. Шахтные подъемники высокой грузоподъемности (до 85 т) / Fig. 4. Shaft-Hoisting Equipment for Heavy Payloads (up to 85 tonnes) (Biurrun et al., 2010)



Рис. 5. Испытательный стенд и опытный образец масштабом 1:1 системы транспортировки и установки РАО на захоронение / Fig. 5. Development and Test-bed of 1:1 Scale Prototype for Waste Transportation and Emplacement Machine (Bollingerfehr et al., 2010)

ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМ И ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ХРАНИЛИЩ

Закон об атомной энергии, принятый правительством Германии, и соответствующие нормативные документы предусматривают, что проекты объектов захоронения РАО должны быть основаны только на полностью апробированных технологиях. Это означает, что процесс начинается с разработки концептуального проекта, затем выполняется рабочий проект систем и оборудования, потом их производство и монтаж в масштабе 1:1 с последующими итеративными испытаниями и корректировкой проекта, и лишь после этого происходит выдача лицензии. DBE вместе с DBE Technology разработала и выполнила целый ряд полномасштабных опытных образцов нового технологического оборудования, которые использовались для подтверждения возможности его производства и безопасности эксплуатации на объектах захоронения РАО. Например, были разработаны уникальные шахтные подъемники грузоподъемностью до 85 т (рис. 4), а также система для транспортировки упаковок с РАО и их установки на захоронение в вертикальные скважины (рис. 5).

Германия обладает значительными наработками в изучении всех жизненных циклов объектов захоронения РАО. Как следствие, компания DBE Technology имеет непосредственный практический опыт в выполнении проектирования, сооружения, эксплуатации и консервации таких хранилищ. Она также обладает передовым опытом в разработке, испытаниях и установке инженерных систем хранения, которые полностью соответствуют свойствам вмещающих их естественных геологических систем и интегрированы в них.

DBE Technology имеет налаженные взаимовыгодные рабочие отношения с целым рядом организаций и компаний, занимающихся обращением с радиоактивными отходами, участвует в международных проектах и программах. Компания предоставляет свои экспертные услуги многим заказчикам, постоянно расширяет спектр своих возможностей и сферу применения своих научно-технических разработок для решения проблем, связанных с окончательной изоляцией радиоактивных отходов.

safety of new technologies for various repository systems and components. These include equipment used in repository operations such as a first-of-its-kind shaft hoisting systems for loads of up to 85 tonnes (Figure 4) and the transport and emplacement system shown in Figure 5 developed for emplacing waste packages in vertical boreholes.

In Germany considerable experience has been amassed in all phases of

the repository lifecycle. As a result DBE Technology offers hands-on experience covering the entire range of repository development, construction, operation, and closure lifecycle. DBE Technology also offers advanced experience in developing and testing engineered systems for application in repository design and construction that is fully integrated with the requirements of the natural system.

DBE Technology has established excellent mutually-beneficial working relations with numerous international programs, institutions, companies, and organizations involved in the field of radioactive waste management. The company provides its expert services to these organisations, while continually expanding its capabilities and further advancing the application and development of scientific and technological solutions related to the permanent disposal of radioactive wastes.

Литература / References:

1. Bollingerfehr, W., Filbert, W., Wehrmann, J.: *Transport- und Handhabungstechniken für radioaktive Abfallstoffe* (2008). DBE Technology, Peine, Germany, 3. Kolloquium über Fördertechnik im Bergbau, 23.-14.01. 2008 in Clausthal-Zellerfeld.
2. Bollingerfehr, W., Filbert, W., R. Graf (2010): *State of the art in spent fuel disposal in rock salt in Germany*. ENC2010-A0234, ENC 2010, May 30 – June 2, Barcelona.
3. Biurrun, E., Bollingerfehr, W., Filbert, W., Havercamp, B. (2010) *Three Decades Development Of A HLW And SF Repository In Germany – The Way Ahead*. WMSymposia, WM2010 Conference, March 7-11, 2010, Phoenix, AZ.
4. Engelmann, H-J., Filbert, W. (1998). „Aktualisierung Konzept Endlager Gorleben“ Deutsche Gesellschaft zum Bau und Betrieb von Endlagern, Peine, März 1998.
5. Helmholtz Zentrum München (HZM) 2010. AG Asse Inventar – Abschlussbericht. HZM, Projekgruppe Jülich, 31.08.2010.
6. Wolf, J., Jobmann, M., Polster, M. (2009). *Design Calculations on Temperature, Deformation and Pore Pressure Development Due to Heating Prior to the Twin Hole Disposal Configuration Test TWIST*. DBE Technology, Peine, December 2009.
7. Wernicke, R., 2006. *The Control of Safety of Radioactive Waste Management and Decommissioning in Germany*. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Internal Report, 10 October 2006.
8. Niedersächsische Ministerium für Umwelt und Klimaschutz (NMU) 2002. *Planfeststellungsbeschluss für die Errichtung und den Betrieb des Bergwerkes Konrad in Salzgitter als Anlage zur Endlagerung fester oder verfestigter radioaktiver Abfälle mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung vom 22 Mai 2002*. NMU.