

Возведение насыпей на слабом основании – старая и достаточно хорошо изученная проблема. Но каждый раз к ней находят новые подходы, методы, концепции. Еще древние инки и ацтеки применяли лозу (фашину) для усиления основания сооружений и для прохождения топей и болот. В России давно известно плетение из бересты, помогавшее передвигаться по непроходимым местам. В современном мире многое изменилось, но основные принципы и подходы к армированию остались теми же. Правда, сегодня вместо фашин, берестяных и лозовых сплетений используются армирующие плоские георешетки и геоткани прочностью на разрыв от 10 до 240 тонн на погонный метр.

ЭФФЕКТИВНОЕ ПРИМЕНЕНИЕ ГЕОСИНТЕТИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ПОДЪЕЗДНЫХ ДОРОГ В НЕФТЕГАЗОВОЙ ОТРАСЛИ

И.С. ЛАДНЕР
Д.М. АНТОНОВСКИЙ

к.т.н. HUESKER Synthetic GmbH
инженер HUESKER Synthetic Moscow

Германия
г. Москва

Благодаря использованию данной технологии практически отсутствуют технические ограничения в строительстве транспортных сооружений на слабых основаниях. Ее применение экологично и обеспечивает сокращение времени строительства и консолидации, объемов работ и общей стоимости строительных работ и последующих эксплуатационных расходов, особенно в труднодоступных районах со слаборазвитой инфраструктурой. Наличие многолетне мерзлых грунтов в основании также не является помехой для подобных сооружений – при дополнительных морозозащитных мероприятиях.

В нефтегазовой отрасли данные инженерные решения успешно применялись на объектах «ВСТО», «Сахалин-1»,

«Сахалин-2», КТК-Р «Голубой Поток», Салымском нефтегазовом месторождении, проекте «Мега-Ямал», на Южношарпинском месторождении и в ряде других проектов. За рубежом подобные инженерные системы применяются компаниями Gaz de France, Exxon, BP, Shell, Chevron, Total и другими, в России и странах СНГ – компаниями «Стройтрансгаз», «Лукойлнефтегазстрой», «Пермтрансгаз», «Варандейнефтегаз», «Сибнефтепроводстрой», «Казакхойл» и другими.

При помощи современных геосинтетических материалов сегодня можно в кратчайшие сроки быстро и эффективно построить любую насыпь, при этом, как и везде, существует своя философия решения проблемы. При проектировании насыпи ►

Effective Use of Geo-Synthetic Materials When Constructing the Approach Roads in Oil and Gas Sector

Erecting the earth fills on a weak base is an old and sufficiently well researched problem. However, every time new approaches, methods and concepts are found with respect to it. Even ancient Incans and Aztecs used to use vine shoots (fascine) to strengthen the base of the structures and to negotiate marshes and bogs. Since times immemorial in Russia woven birch bark has been known to help travel through the impassable places. Many things have changed in the modern world but the basic principles and approaches to reinforcement have remained the same. It is true that today instead of fascines, birch bark and vine shoot weavings, they use the reinforcing flat geo-lattices and geo-fabrics, whose breaking strength ranges between 10 and 240 tons per linear meter. Thanks to the use of this technology there are practically no technical restrictions in the construction of transport facilities on weak bases. Its use is environmentally friendly and ensures a reduction in the time of construction and consolidation, the volumes of work, the total cost of construction operations and reductions in the subsequent operating costs, especially in the areas which are hard to get at and which have a poorly developed infrastructure. The presence of the earth which has been frozen for many years in the base is not a hindrance, either, for such facilities, given that additional frost protective measures are put through.

In the oil and gas sector, these engineering solutions were successfully implemented on such projects as «VSTO», «Sakhalin-1», «Sakhalin-2», KTK-R «Blue Stream», the Sadym Oil and Gas Field, the «Mega-Yamal» Project, on the South-Shapkinsky Deposit and in some other projects. Abroad similar engineering systems are being used by such companies as Gaz de France, Exxon, BP, Shell, Chevron, Total and others; in Russia and the CIS countries – by such companies as Stroytransgas, Lukoilneftegasstroy, Permtransgas, Varandeyneftegas, Sibnefteprovodstroy, Kazakhoil and others.

Using the modern geo-synthetic materials, today, one can, within a short space of time, quickly and effectively, build any earth fill, while at the same time, just like everywhere, there exists a certain philosophy of its own for solving the problem. During the design of the earth fill on a weak base, the calculation of the facility is made in terms of the first and second limit states. If the results of the calculations show that the structure is statically unstable (when calculating in terms of the first limit state – with regard to the loss of load carrying capacity), it makes sense to strengthen it using the reinforcing geo-synthetic materials without reducing the load, by replacing the weak soil of the base or by changing the geometrical and other parameters of the earth fill.

The calculation is made in terms of each of the following possible types of loss of the facility's load carrying capacity:

- the land fill slides on the top of the geo-synthetic reinforcement;
- the land fill together with the geo-synthetic material

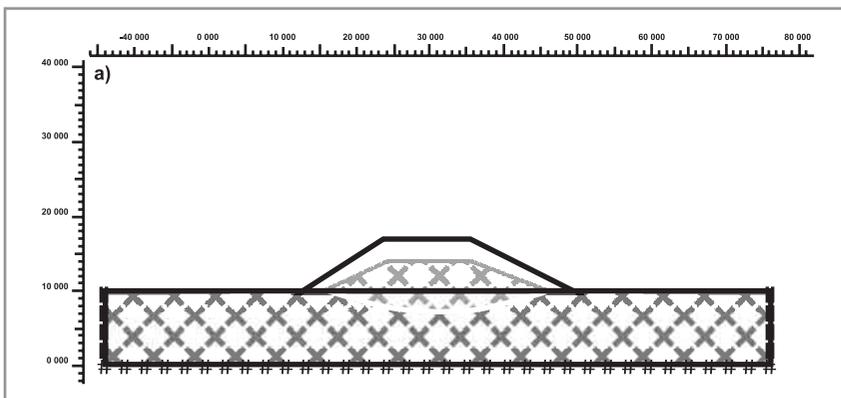
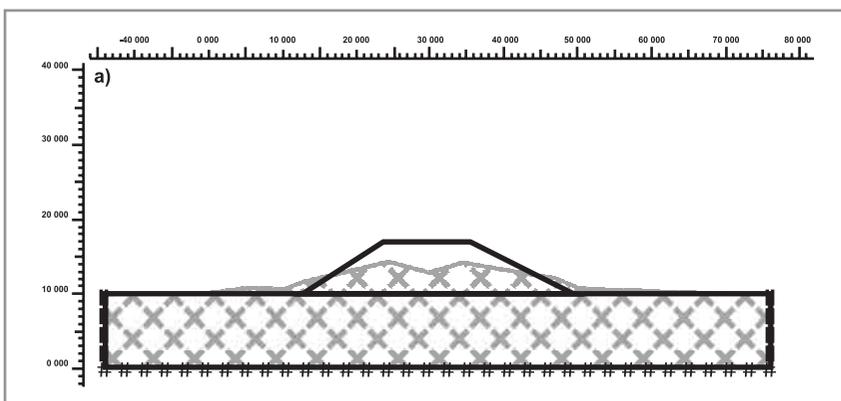


Рис. 1. Моделирование консолидации насыпи под воздействием нагрузок в конечных элементах: а) неармированной; б) армированной тканым геополотном Stabilenka

- slides on the earth of the base;
- c) the sliding curve (cylindrical, polygonal) cuts through the geo-synthetic material;
- d) the land fill squeezes the weak earth (the projection of the earth);
- e) local collapse of the slope without involving the geo-synthetic material;
- f) overall loss of the earth fill stability.

The design calculation was made using the cylindrical sliding surfaces in order to ascertain what force needed to be applied to ensure the design stability. As a rule, for that purpose the Bishop, Maslow calculation methods and some others can be employed. The polygonal method is also used by means of which the calculation in terms of the first limit state is also made. As a rule, the calculation in terms of the first state is made according to the DIN German standards, BS 8006 British Standard, ASDN U.S. Standard, according to EuroCode-7 or other national standards, if there exist more stringent requirements on the design safety. These calculations are made using the analytical method and allow one to determine whether the design will be destroyed or not and to identify effective measures aimed at combating the static instability of the design (or destruction). As a calculated scenario, we assume the scenario involving the loss of the load carrying capacity of the design with the minimum value of the gross margin factor. In case the stability of the design is not ensured (the margin coefficient is less than the standard), a selection is made of the reinforcing geo-synthetic material with a view to ensuring the required gross stability factor.

If it is necessary to determine the deformation values of this facility, the calculation in terms of the second limit state (in terms of the facility's suitability for normal service) is made. Both the analytical methods underlying which are the understandable mathematical models and the finite elements methods, the finite differences methods and others can be used. Let us consider the values of deformation using the example of the finite elements method.

According to the finite elements method, it is possible to determine stresses in the structures without reinforcement and with the reinforcement by geo-synthetic material. In the structure without geo-synthetics, when modeling the operation of the facility, the deformations take on irreversible nature (Fig. 1a), while in the structure with the reinforcement of the land fill base, the settlement reaches a definite uncritical value at which, as the engineering calculations indicate, the normal operation of the facility continues (Fig. 1b).

The temporary surcharging of the earth base, during the construction phase, makes it possible not only to expedite the consolidation of the land fill but also to introduce the reinforcement into the stress and strain state. After the surcharging is released, the reinforcement remains in the pre-stressed condition. We can see how the structure behaves on the whole and what the stress bulb looks like in this particular earth structure. Thus, we may say that the amount of the land fill settlement can be determined not only layer-by-layer (according to the Terzaghi classic technique of 1943), but also using other universally adopted calculation methods. In the meantime, during the construction phase, it is necessary that the soils of the base and the earth bed should be compacted to the required levels of the compaction factor.

The geo-synthetic materials are also selected subject to the interaction with these soils, taking into consideration ϕ_{max} (maximum angle of the internal friction when the soil operates for shear) and the certified isochrones of the material «strength – elongation» in order to achieve maximum effect from the interaction between the soil and the reinforcing material. This way the issues of optimizing the structure are dealt with. Very often, in order to confirm the above mentioned theoretical aspects, the structures are researched using measuring systems. Thanks to that, the engineers involved in the project, are able to monitor the working of the structure at any period of time during the construction and operation of the facility, and, if necessary, to manage and control its operation.

The first serious experience in monitoring such systems dates back to the early 1980-s in Northern Germany. Under the supervision of the Federal Institute for

на слабом основании производится расчет сооружения по первому и второму предельным состояниям. Если по результатам расчетов конструкция статически неустойчива (при расчете по первому предельному состоянию – по потере несущей способности), имеет смысл усилить ее с помощью армирующих геосинтетических материалов без уменьшения нагрузки, замены слабого грунта основания или изменения геометрических и других параметров насыпи.

Расчет производится по каждому из следующих возможных видов потери несущей способности сооружения:

- а) насыпь скользит по верху геосинтетического армирования;
- б) насыпь вместе с геосинтетическим материалом скользит по грунту основания;
- в) кривая скольжения (круглоцилиндрическая, полигональная) перерезает геосинтетический материал;
- г) насыпь выдавливает слабый грунт основания (выпор грунта);
- д) локальное обрушение откоса без задействования геосинтетического материала;
- е) общая потеря устойчивости насыпи.

Расчет конструкции производится по круглоцилиндрическим поверхностям скольжения для определения того, какое усилие необходимо приложить для обеспечения устойчивости конструкции. Как правило, для этого могут применяться методы расчета по Бишопу, Маслову и другие. Используется также полигональный метод, с помощью которого тоже ведется расчет по первому предельному состоянию. Как правило, расчет по первому состоянию ведется по немецким нормам DIN, британскому стандарту BS 8006, американским нормам ASDN, по EuroCode-7 или по другим национальным нормам, если существуют более строгие требования по безопасности конструкции. Данные расчеты ведутся аналитическим способом и позволяют определить, разрушится конструкция или нет, и найти эффективные меры по борьбе со статической неустойчивостью конструкции (или разрушением). В качестве расчетного принимается вариант потери несущей способности конструкции с наименьшим значением общего коэффициента запаса. В случае, если устойчивость конструкции не обеспечена (коэффициент запаса меньше нормативного), производится подбор армирующего геосинтетического материала с целью обеспечения требуемого общего коэффициента устойчивости.

Если необходимо определить величины деформаций данного сооружения, производится расчет по второму предельному состоянию (по пригодности сооружения к нормальной эксплуатации). Могут приме-

няться как аналитические методы, в основе которых лежат понятные математические модели, так и методы конечных элементов, конечных разностей и другие. Рассмотрим величины деформации на примере метода конечных элементов.

В соответствии с методом конечных элементов можно определить напряжения в конструкциях без армирования и с армированием геосинтетическим материалом. В конструкции без геосинтетики при моделировании работы сооружения деформации приобретают необратимый характер (рис. 1а), в то время как в конструкции с армированием основания насыпи осадки достигают определенной некритической величины, при которой в соответствии с инженерными расчетами продолжается нормальная эксплуатация сооружения (рис. 1б).

Временная пригрузка грунтового основания сооружения на этапе строительства дает возможность не только ускорить консолидацию насыпи, но и ввести арматуру в напряженно-деформированное состояние. После снятия пригрузки геосинтетическая арматура остается в предварительно напряженном состоянии. Мы видим, как ведет себя конструкция в целом и как выглядит луковица напряжений в данном земляном сооружении. Таким образом можно сказать, что величину осадки насыпи можно определить не только послойно (по классической методике Терцаги 1943 года), но и другими принятыми методиками расчета. При этом на стадии строительства необходимо обеспечить уплотнение грунтов основания и земляного полотна до требуемых значений коэффициента уплотнения.

Геосинтетические материалы подбираются также с учетом взаимодействия с данными грунтами, учитывая фта_х (максимальный угол внутреннего трения при работе грунта на сдвиг) и сертифицированные изохроны материала «прочность – относительное удлинение», для того чтобы добиться максимального эффекта от взаимодействия грунта с армирующим материалом. Таким образом, решаются задачи оптимизации конструкции. Зачастую для подтверждения всех вышеперечисленных теоретических аспектов проводят исследования конструкций с помощью измерительных систем. Благодаря этому, задействованные в проекте специалисты имеют возможность отслеживать работу конструкции в любой период времени строительства и эксплуатации сооружения и при необходимости управлять и контролировать его работу.

Первый серьезный опыт мониторинга таких систем датируется началом 80-х годов прошлого столетия в Северной Германии. Под руководством Федерального института дорожно-транспортного строительства Германии (BASt) была произведена ►

установка сложных измерительных систем для контроля работы конструкции. По данным системы мониторинга видно, как происходит осадка насыпи во времени (рис. 2) и как растет напряжение в геосинтетическом материале. Мы видим также, что после снятия пригрузки прирост напряжения в геосинтетическом материале полностью прекратился и осадка сооружения стабилизировалась.

Спустя 100 000 часов (что соответствует 14 годам наблюдений) было произведено вскрытие конструкции для определения потери несущей способности этого материала за вре-

зал высокую сходимость полученных результатов с результатами инженерных расчётов конструкции на этапе проектирования. Различия связаны с неоднородностью физико-механических свойств основания (что объясняется гетерогенностью свойств грунтов) в пределах одного поперечного сечения, что трудно полностью учесть на этапе проектирования.

Таким образом можно сделать вывод, что основные параметры сооружения и его элементов были грамотно подобраны и запроектированы, а также все строительные работы произведены высококачественно с при-

Road and Transport Construction in Germany (BAST) complex measuring systems to control the operation of a structure were installed. The data of the monitoring system show how the settlement of the land fill happens over time (Fig. 2) and how the stress goes up in the geo-synthetic material. We can also see that after the surcharging is lifted, the stress increment in the geo-synthetic material ceased completely, and the settlement of the facility stabilized.

After the passage of 100 000 hours (which corresponds to 14 years of observation), the structure was opened up to determine the loss of this material's bearing capacity during the operation of the facility. After it was extracted from the structure and after the laboratory tests, the total reduction in strength characteristics compared to the initial values was by minimal amounts (approximately 1-2 %). This goes to show that the material had been chosen correctly subject to the reducing factors of mechanical damage, creep and environmental effects. The monitoring evidenced the high level of correspondence of the results obtained to those of the engineering calculations made for the structure at the project engineering stage. The differences can be put down to lack of homogeneity of the physical and mechanical properties of the base (which is due to the heterogeneity of the soils properties) within the range of one cross section, which is difficult to take into account at the project engineering stage.

Thus, it may be concluded that the basic parameters of the facility and its elements had been professionally selected and designed as well as that all the construction operations had been carried out with high quality using the proven and reliable materials which made it possible to guarantee the effective operation of the facility during the entire project service life – 1 000 000 hours (more than 100 years).

Such facilities enable cash and time resources to be saved as well as construction time to be cut back. Their efficiency has been proved by time.

МОНИТОРИНГ ПОКАЗАЛ ВЫСОКУЮ СХОДИМОСТЬ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ С РЕЗУЛЬТАТАМИ ИНЖЕНЕРНЫХ РАСЧЁТОВ КОНСТРУКЦИИ НА ЭТАПЕ ПРОЕКТИРОВАНИЯ.

ма работы данного сооружения. После его извлечения из конструкции и лабораторных испытаний общее снижение прочностных характеристик по отношению к первоначальным значениям уменьшилось на минимальные величины (около 1-2 %). Это свидетельствует о правильном подборе материала с учётом понижающих коэффициентов механических повреждений, ползучести и воздействия окружающей среды. Мониторинг пока-

менением проверенных и надёжных материалов, что позволяет гарантировать эффективную эксплуатацию сооружения в течение всего проектного срока службы – 1 000 000 часов (более 100 лет). ■

Подобные сооружения позволяют экономить денежные средства, время, а также сократить сроки строительства. Их эффективность доказана временем.

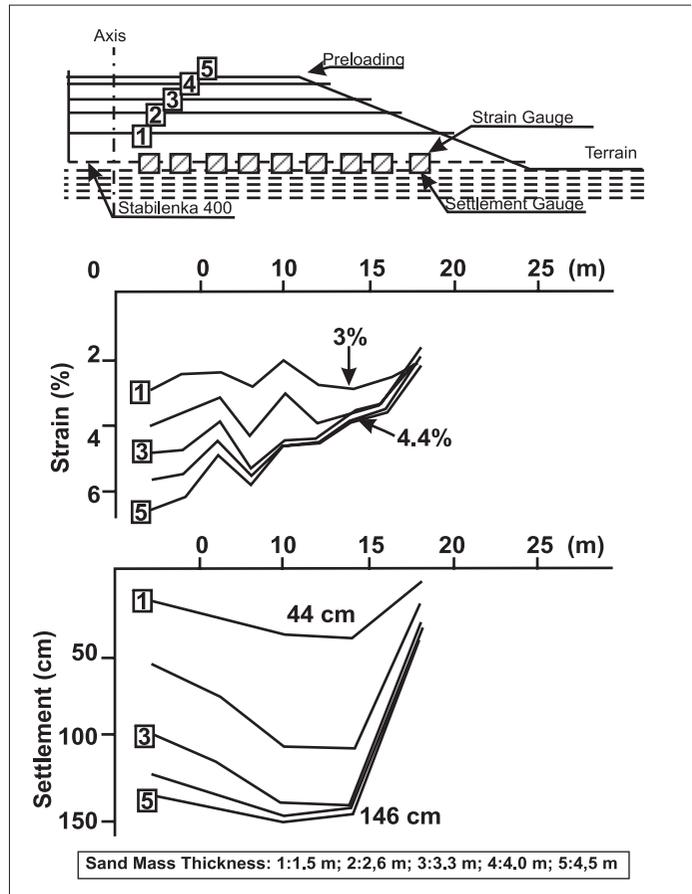
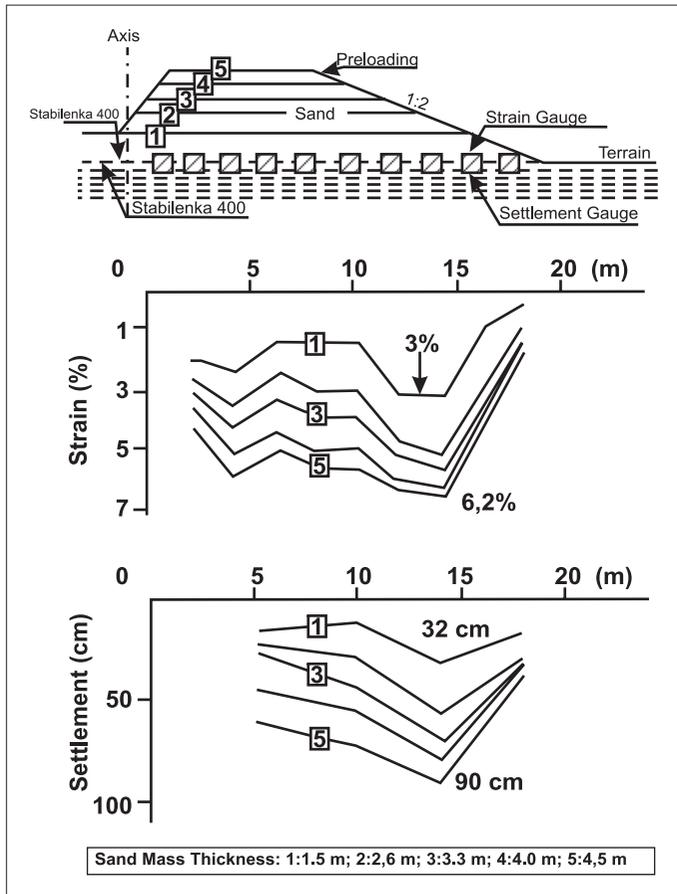


Рис. 2. Мониторинг насыпи на слабом основании, армированной плоской георешеткой Fortrac на железнодорожной ветке Магдебург – Берлин (Германия)