

Рис. 5. График зависимости $S=f(F)$:

— при загрузке, - - - - - при разгрузке

Расчет несущей способности сваи (F_d) по данным испытаний статической вдавливающей нагрузкой и нагрузки допустимой на сваю по прочности грунта (F) проводился согласно ТКП 45-5.01-254-2012.

$$\left. \begin{aligned} F_d &= \gamma_c \cdot F_{u,n} / \gamma_q; \\ F &= F_d / \gamma_k \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

где γ_c – коэффициент условий работы;

$F_{u,n}$ – нормативное значение предельного сопротивления основания сваи, кН;

γ_q – коэффициент надежности по грунту;

γ_k – коэффициент надежности метода определения несущей способности сваи по грунту.

Соответственно – $\gamma_c = \gamma_q = 1$; $\gamma_k = 1,2$.

За расчетную величину осадки для частного значения предельного сопротивления сваи принята величина $S=20$ мм.

Расчеты показали, что частное значение предельного сопротивления сваи (F_u) составляет 850 кН при осадке 15,4 мм, несущая способность сваи – 750 кН, а нагрузка допустимая на сваю по прочности грунта – 708 кН.

С целью отыскания основополагающих подходов и прогнозирования изменения предельных сопротивлений сваи F_u были рассчитаны их значения для стройплощадок со следующими характерными инженерно-геологическими условиями: чередование песчаных слоев различной крупности и плотности сложения; наличие нескольких

прослоек слабых грунтов (глинистых с включением органического вещества); заглубление острия сваи в слабый грунт; мощность прослоек со слабыми грунтами не превышает 0,6 м. График изменения F_u по глубине от уплотнения грунтового массива при забивке сваи приведен на рис. 6.

Заключение. Анализ графика позволяет отметить, что требуемая несущая способность сваи обеспечена при её забивке на глубину 9 м вместо 11 м по проектной документации.

Вместе с тем, с целью недопущения возможных деформаций здания в период эксплуатации, целесообразно, в таких случаях, часть нагрузки передавать на грунт через ростверк, т. е. проектировать свайные фундаменты с несущим ростверком.

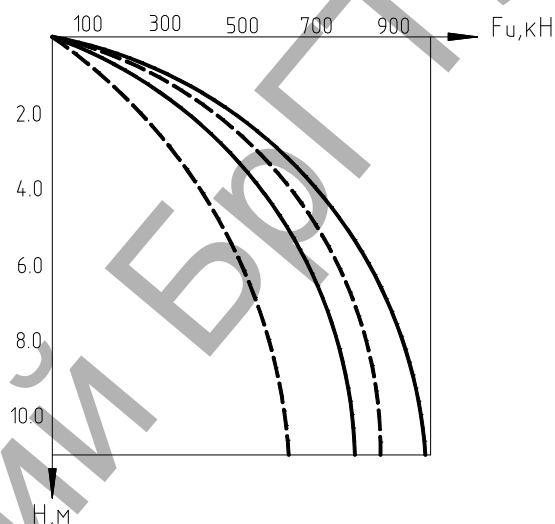


Рис. 6. График изменения предельных сопротивлений свай F_u по глубине H и от изменения структуры грунта при забивке

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Пойта, П.С. Оценка методов несущей способности забивных свай / П.С. Пойта, П.В. Шведовский // Вестник БрГТУ. – 2009. – №1 (56). – С. 30–32.
2. Дроневиц, А.Ю. Особенности учета изменчивости грунтов в процессе погружения забивных свай на их несущую способность / А.Ю. Дроневиц, П.С. Пойта, Л.В. Шведовский // Вестник БрГТУ. – 2012. – №1 (73). – С. 77–81.
3. Лапшин, Ф.К. Расчет свай по предельным состояниям / Ф.К. Лапшин // Издательство Соратовского университета. – 1972. – 152 с.

Материал поступил в редакцию 15.01.14

POUYA P.S., DRONEVICH A.Yu., SHVEDOVSKY P.V., KLEBANYUK D.N. Features of consolidation of non-uniform okolosvayny space at blockage of a pile field

The article presents the results of studies of non-uniform seal the soil mass in the presence of several layers of weak soils of low power due to immersion prefabricated concrete piles. Found that the behavior of the soil structure and the degree of compaction can reduce the estimated length of the pile by 10–15%.

УДК 624.131

Дедок В.Н., Тарасевич А.Н.

ОСОБЕННОСТИ СВОЙСТВ СЛАБЫХ ВОДОНАСЫЩЕННЫХ ГЛИНИСТЫХ ГРУНТОВ И МЕРОПРИЯТИЯ ПО ИХ УЛУЧШЕНИЮ

Введение. Территория республики характеризуется значительным разнообразием геоморфологии отдельных ее частей и пестрой

той в сложении покровных пород.

Основные геоморфологические черты территории нашей рес-

Дедок Владимир Николаевич, доцент кафедры геотехники и транспортных коммуникаций Брестского государственного технического университета.

Тарасевич Алексей Николаевич, к.т.н., доцент кафедры геотехники и транспортных коммуникаций Брестского государственного технического университета.

Беларусь, БрГТУ, 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.

Строительство и архитектура

публики сформировались в четвертичное время. Наибольшее значение в формировании современного рельефа Белоруссии имело последнее Валдайское (Вюрмское) оледенение. Возвышенности северной части Белоруссии сложены конечно-моренными образованиями: ледниково-валунными суглинками или супесями, водно-ледниковыми песчаными или песчано-гравийными отложениями. Низменные, места обычно выстланы озерно-ледниковыми, преимущественно ленточными песчано-глинистыми отложениями, реже водно-ледниковыми, песчаными или песчано-гравийными.

Значительная территория, охватывающая Гродненскую и северо-западную часть Минской области, покрыта рядом холмисто-увалистых моренных высот и гряд и расположенных между ними сглаженных и низменных территорий (Лидская равнина, Неманская низина). Здесь широко распространены суглинки и супеси, а также пески.

От линии Минск – Слуцк на восток простирается довольно большая Центральная Березинская равнина, проходящая на востоке до линии Могилев – Славгород – Жлобин. Здесь широко распространены супеси или пески, часто подстилаемых мореной, а также болота, в том числе и верховые, со смешанными залежами.

Восточная часть Могилевской области и северо-восточная часть Гомельской характеризуются плоско-полого-волнистым рельефом. Здесь часто встречаются суглинки, супеси или пески.

Большие просторы Полесья, занимающие Брестскую, основную часть Гомельской и южные районы Минской областей, имеют довольно однообразный равнинный или полого-равнинный рельеф. Значительные территории центральной и восточной частей Белорусского Полесья покрыты песками, среди которых встречаются выходы донной морены. Рельеф западной части Полесья полого-волнистый, сглаженный. С запада между реками Ясельдой и Пиной вклинивается сложенная глинистыми и суглинистыми грунтами Прибугская равнина, доходящая до Пинска.

Районирование территории республики по характерным видам грунтов. В основу районирования отложений ледникового комплекса в пределах территории Белоруссии положены закономерности пространственной изменчивости состава, состояния и свойств грунтов – важнейших параметров инженерно-геологических условий территории.

В пределах Белоруссии выделено 10 инженерно-геологических областей, приуроченных к структурным элементам первого и второго порядка, рисунок 1. Внутри областей районирование выполнено по типам инженерно-геологических разрезов.

В каждой области по характерному типу разреза выделено от двух до четырех районов.

По каждому выделенному району для всех литологических типов грунтов приведены нормативные значения показателей физических свойств и параметров зондирования, полученные на основе обобщения большого фактического материала изысканий, выполненных в пределах территории республики на объектах промышленного и гражданского строительства [1]. На основе инженерно-геологического районирования отложений с учетом гидрогеологических условий территории, опыта изысканий, проектирования и строительства в пределах изученного региона все составлены характерные разрезы, которые объединены в девять типовых схем.

Для каждой из схем предложен определенный набор методов прогноза прочностных и деформационных свойств грунтов. Приведенная типизация ледниковых отложений позволяет научно обоснованно подойти к выбору типов фундаментов и определению комплекса методов исследования свойств грунтов, с учетом предшествующего опыта инженерных изысканий, проектирования и строительства.

Особенности свойств слабых грунтов. Под термином «слабые грунты» различные исследователи понимали совершенно разные группы грунтов с различными свойствами. На конференции в Таллине в 1965 г. было решено выделить в отдельную группу слабые водонасыщенные глинистые грунты по двум признакам – сжимаемости и степени влажности. Было принято под слабыми водонасыщенными глинистыми грунтами понимать глинистые грунты, которые в интервале изменения давления от 0,05 МПа до 0,3 МПа имеют модуль общей деформации E_0 , равный или меньший 5 МПа, и характеризуются степенью влажности более 0,8.

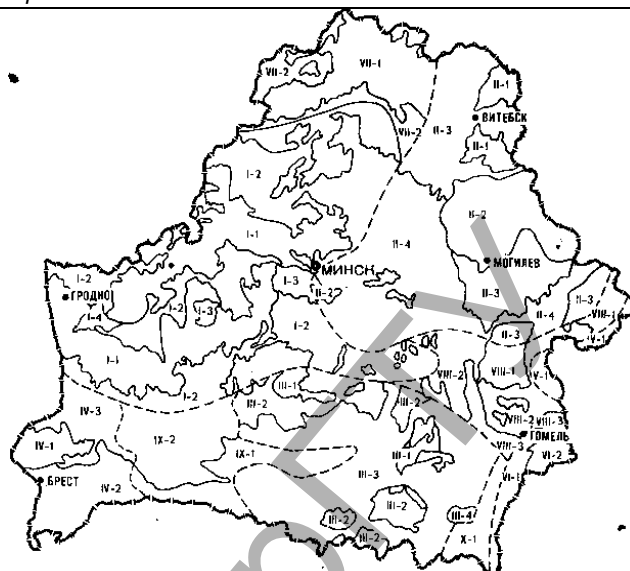


Рис. 1. Карта инженерно-геологического районирования отложений ледникового комплекса республики

К слабым – специфическим следует относить грунты различного генетического происхождения, вещественного состава, слаболитифицированные с низкими значениями сопротивления зондированию [2]:

- органические (торф), органоминеральные (ил, сапропель) и заторфованные с $1_{om} > 0,1$ (биогенные);
- слабые глинистые (озерно-ледниковые, ленточные, тонкослойные) и малопрочные пески (при наличии одного из показателей: $E_0 \leq 5$ МПа, $q_c \leq 1$ МПа, $J_L \geq 1$, $S_r \geq 0,8$);
- структурно-неустойчивые при водонасыщении: просадочные (лессовидные), набухающие при промерзании, пучинистые, засоленные (известково-карбонатные); элювиальные; насыпные (искусственные) типа II.

Структурные свойства грунтов. Физико-химическая природа структурной прочности глинистых грунтов обусловлена поверхностными молекулярными (ван-дер-ваальсовыми) силами притяжения и цементационными связями. Ван-дер-ваальсовы силы действуют через тонкие прослойки воды в местах сцепления частиц. При исследовании структурных свойств грунтов, кроме первичного сцепления необходимо учитывать сцепление упрочнения, которое возникает в результате выпадения из поровой воды различных химических веществ, являющихся природным цементом, и их отложения на контактах между частицами. Пленки цемента имеют малую толщину и практически не увеличивают плотности осадков. Н.Я. Денисов [3], исследуя коллоидно-химическую природу структурных свойств глинистых пород, пришли к выводу, что при взаимодействии воды с гидрофильными минеральными глинистыми частицами на поверхности последних образуются пленки коллоидного раствора имеющего свою структуру. Эти пленки способны к застудеванию, что и является причиной их клеящегося или связывающего действия.

При проведении исследований сжимаемости грунтов малыми ступенями давлений было установлено, что до определенных значений давления на грунт последний практически не сжимался. В связи с этим, величину максимального давления на образец, при котором грунт практически не сжимается, называют величиной *структурной прочности сжатия грунта*.

Для определения величины структурной прочности сжатия по результатам испытаний слабых водонасыщенных глинистых грунтов на срезном приборе или в стабилометре рекомендуется использовать следующую зависимость

$$P_{str} = 2 c \cos \varphi / (1 - \sin \varphi).$$

Экспериментальная проверка этой формулы показала, что величина структурной прочности сжатия, определенная расчетом и в экспериментах, для грунтов с малым углом внутреннего трения по-

лучается очень близкой. Для грунтов, у которых угол внутреннего трения больше 10° , величина структурной прочности сжатия, определенная по формуле, на 20–40% больше, чем по результатам компрессионных опытов, и на 5–15% больше, чем по результатам испытаний грунтов штампами площадью 10 тыс. см².

Структурная прочность сжатия грунтов постоянна при статическом приложении нагрузки, а при динамических воздействиях резко уменьшается.

Сжимаемость грунтов. Современные расчеты осадок земляных сооружений основаны на теории линейно-деформируемых тел. Для расчетов по этой теории необходимо получить в испытаниях значения модуля общей деформации E_0 , и необходимо знать коэффициент бокового расширения. Коэффициент бокового расширения, как показывают исследования, не является постоянной величиной, а изменяется в зависимости от их напряженного состояния. Его величина особенно существенно изменяется при напряжениях, близких и больших структурной прочности сжатия грунтов.

Согласно исследований, в отличие от малосжимаемых грунтов значения модуля общей деформации E_0 слабых водонасыщенных глинистых грунтов не являются постоянной величиной и существенно зависят от напряженного состояния образца [4]. При компрессионном исследовании образцов, значения модуля общей деформации изменялись, в зависимости от выбранного интервала давлений, более чем в 4 раза. Поэтому при определении модуля общей деформации для слабых водонасыщенных глинистых грунтов необходимо указывать, для какого интервала давлений получено данное значение модуля.

Исследования по выявлению зависимости между характеристиками сжимаемости и методикой нагружения образцов, показали, что большинство исследованных образцов при приложении давления малыми степенями имели коэффициент сжимаемости значительно меньший, чем в испытаниях образцов близнецов, но при приложении давления большими степенями. Таким образом, установлено, что для получения достоверных расчетных значений характеристик сжимаемости необходимо знать не только величину максимального давления в грунтах, но и методику приложения этих давлений [4].

Характеристики сжимаемости грунтов могут быть определены при помощи полевых методов – обжатием грунтов штампами, при помощи зондирования и прессиометров.

Существует мнение, что при проведении компрессионных испытаний значения модуля общей деформации получаются значительно меньшими по сравнению с результатами испытания тех же грунтов штампами в полевых условиях. Под руководством М.Ю. Абелева были проведены лабораторные и полевые сопоставительные исследования сжимаемости грунтов. При исследованиях в полевых условиях были использованы круглые и квадратные металлические штампы, до полевых испытаний из шурфов отбирали образцы грунта с ненарушенной структурой, которые затем исследовали на компрессионных приборах и в стабиллометрах конструкции МИСИ им. В.В. Куйбышева. Полевые исследования штампов проводились по такой же методике нагружения, как в лабораторных условиях. опыты показали, что величина модуля общей деформации E_0 , значительно зависит от интервала давлений в которых он определяется, и от вида испытаний. Разница в значениях величины E_0 , полученных по результатам лабораторных и полевых испытаний, достигает 50%, при этом, как и предполагалось, значения E_0 , по результатам штамповых испытаний выше чем при лабораторных исследованиях.

Прочность грунтов. Прочность грунта определяет максимально допустимое напряженное состояние, при котором еще не наблюдается разрушение грунта. Разрушение происходит при определенном соотношении главных напряжений в результате среза (сдвига) по площадке, на которой касательные напряжения превышают сопротивляемость грунтов сдвигу. Наиболее часто принимается, что в предельном состоянии зависимость между касательным и нормальным напряжениями определяется уравнением Кулона – Мора. Параметрами этого уравнения являются угол внутреннего

трения φ и сцепление c , нахождение которых является целью определения прочности слабых водонасыщенных глинистых грунтов.

По теории Н.Н. Маслова характеристику сцепления, которая зависит от плотности-влажности грунта, рекомендуется разделить на две составляющие – структурное сцепление, не зависящее от влажности грунта, и водноколлоидную связность грунтов, которая зависит от влажности грунтов.

Значения угла внутреннего трения φ и сцепления слабых водонасыщенных глинистых грунтов переменны и зависят от условий испытаний – величины вертикальной нагрузки, скорости приложения сдвигающего усилия, условий дренажа образцов в процессе сдвига и т.п.

Опыты по определению φ и c рекомендуется проводить двумя методами, методом ускоренного (неконсолидированного) сдвига и методом медленного (консолидированного) сдвига. По методу ускоренного сдвига величина угла внутреннего трения на 20–65% меньше, а сцепление равно или несколько (до 30%) больше, чем при испытаниях по методике медленного сдвига. Результаты опытов показывают, что скорость сдвига существенно влияет на прочностные характеристики слабых водонасыщенных глинистых грунтов – с уменьшением скорости нагружения сопротивление грунта сдвигу увеличивается. Рекомендуется при испытаниях грунтов скорость нагружения образцов принимать равной скорости нагружения основания сооружения.

Особенности использования слабых грунтов в основании. Основания сложенные водонасыщенными глинистыми грунтами, биогенными или минеральными слабыми и малопрочными грунтами или включающие их, должны проектироваться с учетом особенностей их свойств:

- сооружения, возведенные на слабых водонасыщенных глинистых грунтах с модулем общей деформации меньше 5 МПа, испытывают большие осадки, обусловленные высокой сжимаемостью грунтов;
- сильносжимаемые водонасыщенные глинистые грунты имеют малую прочность — угол их внутреннего трения обычно равен $5\text{--}12^\circ$, а сцепление 0,01–0,03 МПа (при испытании грунтов по методике быстрого сдвига);
- осадка сооружений, расположенных на слабых водонасыщенных глинистых грунтах, происходит в течение длительного времени. Это объясняется тем, что уплотнение водонасыщенных грунтов, в основном определяется процессами отжатия воды из пор глинистого грунта, имеющего низкое значение коэффициента фильтрации.

При проектировании фундаментов на сложных основаниях со специфическими грунтами следует руководствоваться требованиями ТКП 45-5.01-67[5] и в зависимости от условий класса геотехнического риска строительства предусматривать следующие мероприятия:

- защиту основания от увлажнения посредством вертикальной планировки, асфальтирования территории и устройства уширенной отмостки;
- улучшение свойств грунтов, включая их уплотнение, предварительное замачивание, глубинное виброуплотнение, устройство грунтовых свай (вертикальное армирование), различные виды химического закрепления, устройство временного пригруза, полную или частичную замену грунтов основания;
- конструктивные, уменьшающие чувствительность сооружений к деформациям оснований.

К конструктивным мероприятиям относятся:

- увеличение жесткости здания разрезкой его на отдельные блоки осадочными швами;
- применение нежестких связевых конструктивных схем зданий;
- устройство монолитных (сборно-монолитных) жестких фундаментов (перекрестные ленты, сплошные массивные фундаменты, глубокие опоры);
- устройство жестких горизонтальных диафрагм в уровне перекрытий, а также непрерывных железобетонных поясов по всему контуру здания в уровне плит перекрытий первого и последующих этажей, анкеровка фундаментов и др.;

- увеличение глубины заделки (анкеровки) опорных частей (арматуры) несущих конструкций;
- армирование кирпичных стен и столбов, пилястр и т.д.;
- гибкое подсоединение внутренних инженерных сетей к наружным коммуникациям;
- устройство приспособлений для выравнивания конструкций сооружения и рихтовки технологического оборудования.

При проектировании следует учитывать, что если непосредственно под подошвой фундамента или на расстоянии $2b$ от него залегает слой слабого или малопрочного грунта с модулем деформации E_0 менее 5,0 МПа, толщиной более ширины фундамента b , осадку основания следует определять с учетом полного давления под подошвой фундамента.

Опираемые фундаменты (концов свай) непосредственно на поверхность заторфованных грунтов с $1_{от} > 0,2$, торфов, слабоминеральных сапропелей и илов не допускается.

Современные методы улучшения свойств слабых грунтов. Анализ существующих методов усиления и закрепления грунтов [6] показал, что применительно к слабым грунтам можно рекомендовать к применению следующие из них.

- **Закрепление грунтов основания зданий с помощью противосуффозионного раствора.** Для этого используют закрепляющий состав на этилово-битумной основе, позволяющий исключить условия суффозионного выноса мелких и пылеватых фракций из песчано-суглинистых грунтов.
- **Биодренаж**, т. е. поглощение влаги корневой системой растений непосредственно из грунтовых вод или их капиллярной каймы.
- **Инъекции тонкодисперсного вяжущего материала** (метод «Mikrodug»), состоящего из портландцемента различного измельчения и специальных добавок.
- **Метод «Геокомпозит»**, позволяющий улучшить физико-механические свойства грунтов и предотвратить развитие в них опасных оползневых процессов.
- **Метод струйной геотехнологии** для укрепления слабых суглинков, супесей, водонасыщенных пылеватых песков.
- **Разрядно-импульсные технологии (РИТ)**, применяемые для глубинного уплотнения грунтов, изготовления буронабивных свай и грунтовых анкеров, цементации ослабленных зон (оползней) и грунтов в зоне контакта «фундамент – грунт».
- **Метод устройства свай по технологии CSP**, в том числе свайных стен, в условиях плотной городской застройки для закрепления слабых грунтов. Система CSP – секущие сваи с обсадной трубой.

- **Георешетки «Славрос СД»** двойного ориентирования (двухосные) – это плоские полипропиленовые решетки с прямоугольной ячейкой для применения в конструкциях, воспринимающих высокие динамические или статические нагрузки.
- **Метод втрамбовывания щебеночно-цементной смеси** (микросвай) под существующие и строящиеся фундаменты.
- **Метод укладки в основания фундаментов геокомпозитных материалов «Славрос – Дренаж»** для защиты от поверхностных и грунтовых вод и предотвращения их обводнения до влажности набухания.
- **Метод защиты котлованов по внешней стороне стен здания** (тщательное уплотнение глинистого грунта, засыпка хорошо обезвоженным водопроницаемым грунтом с гравитационным дренажом); устройство внешнего бетонного поверхностного пояса вокруг здания.
- **Метод повышения надежности водонесущих коммуникаций.** Для этого выполняют гидроизоляцию подземных частей зданий, сооружений и коммуникаций в виде тоннельных прокладок инженерных сетей и обеспечения отвода воды

Заключение. Учет особенностей прочностных и деформационных свойств слабых глинистых грунтов позволит изыскателям и проектировщикам обеспечить безопасное проектирование и строительство зданий и сооружений на этих грунтах.

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Бусел, И.А. Прогнозирование строительных свойств грунтов. – Мн.: Наука и техника. 1989. – 246 с.
2. Основания и фундаменты зданий и сооружений. Основные положения. Строительные нормы проектирования. Министерство строительства и архитектуры Республики Беларусь: ТКП 45-5.01-254-2012. – Мн., 2012.
3. Денисов, Н.Я. Природа прочности и деформаций грунтов. – М.: Издательство литературы по строительству, 1972. – 280 с.
4. Абелев, М.Ю. Слабые водонасыщенные глинистые грунты как основания сооружений. – М.: Стройиздат, 1973. – 288 с.
5. Фундаменты плитные. Правила проектирования. Министерство строительства и архитектуры Республики Беларусь: ТКП 45-5.01-67-2007. – Мн., 2007.
6. Шешеня, Н.Л. Современные методы повышения свойств слабых грунтов оснований строительных объектов / Промышленное и гражданское строительство. – 2012. – № 11. – С. 5–7.

Материал поступил в редакцию 25.02.15

ДЕДОК В.Н., ТАРАСЕВИЧ А.Н. Особенности свойств слабых водонасыщенных глинистых грунтов и мероприятия по их улучшению

Рассматриваются физико-механические свойства слабых водонасыщенных глинистых грунтов их особенности и методы определения. Приведены результаты анализа распространения слабых грунтов на территории Республики Беларусь. Рассмотрены современные методы повышения свойств слабых грунтов.

УДК 624.014

Мухин А.В., Шурин А.Б., Маркулевич Ю.Ю.

КОНСТРУКТИВНЫЕ РЕШЕНИЯ КРОВЕЛЬ С ОРТОТРОПНЫМИ КОНСТРУКЦИЯМИ ИЗ ПРОФИЛИРОВАННЫХ НАСТИЛОВ

В отечественной практике изготовление и применение стального профилированного настила регламентируется СТБ 1382 [1] и ГОСТ 24045 [3, 4]. В зависимости от назначения, профилированный настил

с трапециевидными гофрами подразделяется по назначению на три основных вида:

Мухин Анатолий Викторович, к.т.н., доцент, профессор кафедры строительных конструкций Брестского государственного технического университета.

Шурин Андрей Брониславович, к.т.н., ст. преподаватель кафедры строительных конструкций Брестского государственного технического университета.

Беларусь, БрГТУ, 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.

Маркулевич Юлия Юрьевна, инженер ПТО (производственно-технический отдел) «Стройгаз».

Беларусь, «Стройгаз», г. Брест, ул. Я. Купальи, 108К.