

УДК 691.33:624.138.232.1

А. П. НОВИЦКИЙ, А. П. ПАВЛОВ, А. И. ТЕЛИЧЕНКО, В. И. ШУШКЕВИЧ

Сумской национальный аграрный университет

ГРУНТОБЕТОНЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕСТНОГО СЫРЬЯ И ОТХОДОВ ПРОИЗВОДСТВА

В Сумской области широкое применение получили сваи, возводимые на месте строительства: буронабивные, буроинъекционные, в пробитых скважинах. Стволы этих свай выполняются с применением традиционных вяжущих и заполнителей. В настоящей статье рассмотрены вопросы применения для этих целей местных материалов и отходов производств, обобщен уже имеющийся практический опыт.

буронабивные сваи, буроинъекционные сваи, грунтофибробетон, шлакощелочной грунтобетон, щеберит

ФОРМУЛИРОВКА ПРОБЛЕМЫ

В настоящее время буроинъекционные сваи все чаще создаются по технологии так называемого «полого шнека», когда по мере извлечения бурового шнека из скважины сквозь него под давлением подается бетонная смесь, формирующая собственно сваю. После этого в эту смесь вдавливают либо погружают под воздействием вибраторов арматурный каркас. Эта операция на практике трудно осуществима, особенно при длине сваи более 6 метров, когда в процессе погружения нередко наступает преждевременный «отказ». Эта реальная практическая проблема требует решения, которое обеспечило бы уже сегодня бесперебойность устройства фундаментов в сложных гидрогеологических условиях, являясь при этом экономически целесообразным.

АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

Анализ литературных источников, существующего оборудования для создания буроинъекционных свай методом «полого шнека», имеющегося опыта приготовления и применения так называемого «грунтобетона» на местных мелкозернистых заполнителях позволяют предложить вместо арматурного каркаса и крупного заполнителя (щебня) грунтофибробетонную смесь, подаваемую в ствол сваи непосредственно через полый шнек сваи при его извлечении.

Обеспечение технологичности конструктивных решений современных зданий и сооружений с одновременным снижением себестоимости всегда оставалось в поле зрения строительной науки.

Объектами пристального исследования в этой связи выступают местные строительные материалы в их сочетании с эффективными компонентами конструктивных форм и разновидностей монолитного железобетона. Благодаря известным преимуществам сталефибробетона вопросы оптимизации его состава и расширения сфер использования являются объектами изучения многих современных исследователей [1–4]. Появление новых строительных машин и механизмов открывают новые возможности успешного применения грунтоцементного сталефибробетона в строительстве с использованием при этом целого ряда местных строительных материалов и отходов [5–7].

ЦЕЛИ

Цель настоящей работы заключается в том, чтобы предложить решение вышеизложенной реальной практической проблемы, обеспечив при этом максимальную экономическую эффективность, использование доступных местных строительных материалов, а также последних достижений строительной науки в области эффективных грунтоцементных сталефибробетонов.

ОСНОВНОЙ МАТЕРИАЛ

Грунтофибробетон является разновидностью дисперсно-армированного железобетона и изготавливается из модифицированного почвенно- или песчано-цементного раствора, в котором в качестве арматуры используются стальные или полимерные фибры, равномерно распределенные по объему бетона. Совместность работы бетона и фибр обеспечивается за счет сцепления по их поверхности и анкеровки фибры за счет периодического профиля и ее кривизны в продольном и поперечном направлении.

Сталефибробетонные конструкции в зависимости от армирования подразделяются на:

- с фибровым армированием, при армировании стальными фибрами, равномерно распределенными по объему элемента;
- с комбинированным армированием, при армировании стальными фибрами в сочетании со стержневой или проволочной арматурой (как в железобетоне).

Применительно к буроналивным сваям технология применения грунтофибробетона позволяет либо вовсе отказаться от арматурного каркаса, либо сохранить его в верхней части сваи для связи с элементами ростверка. Предложенная технология создания буроналивных свай обладает большой гибкостью и многовариантностью с точки зрения как состава нагнетаемой смеси, так и возможных комбинаций фибробетон-арматура. При этом используются наиболее выигрышные свойства фибробетона по сравнению с традиционным железобетоном:

- повышенные трещиностойкость, ударная вязкость, вязкость разрушения (рис. 1, 2), износостойкость, морозостойкость, сопротивление кавитации;



Рисунок 1 – Характер разрушения неармированного образца грунтобетона.



Рисунок 2 – Характер разрушения образца грунтобетона со стальной фиброй.

- пониженная усадка и ползучесть;
- снижение трудозатрат на арматурные работы, повышение степени механизации производства.

Поэтому с целью обеспечения работы буроналивных свай преимущественно на сжатие (с возможностью при этом обеспечить достаточную работу на растяжение и изгиб), предлагается для жилого дома устройство свайного фундамента с использованием так называемого «низкого» ростверка и включением в работу грунтового основания. При такой расчетной схеме открывается возможность использования фибробетона и непосредственно в ростверке с сохранением традиционного армирования в его растянутой зоне.

Для приготовления фибробетона при монолитном строительстве, а также для беспроемной и малоэнергоёмкой технологии наиболее предпочтительным является портландцемент ПЦ500. Проведенные исследования позволили выявить зависимость прочности грунтофибробетона (R) на основе ПЦ500 от длины применяемой стальной фибры (L), которая приведена на рис. 3.

Эта зависимость может быть с достаточно высокой точностью аппроксимирована выражением:

$$R = 21,0361 \cdot 1,0061584^L, \text{ кг/см}^2. \quad (1)$$

Средний расход фибры для конструкций жилищного строительства составляет 30–80 кг/м³ (в зависимости от напряженного состояния элементов).

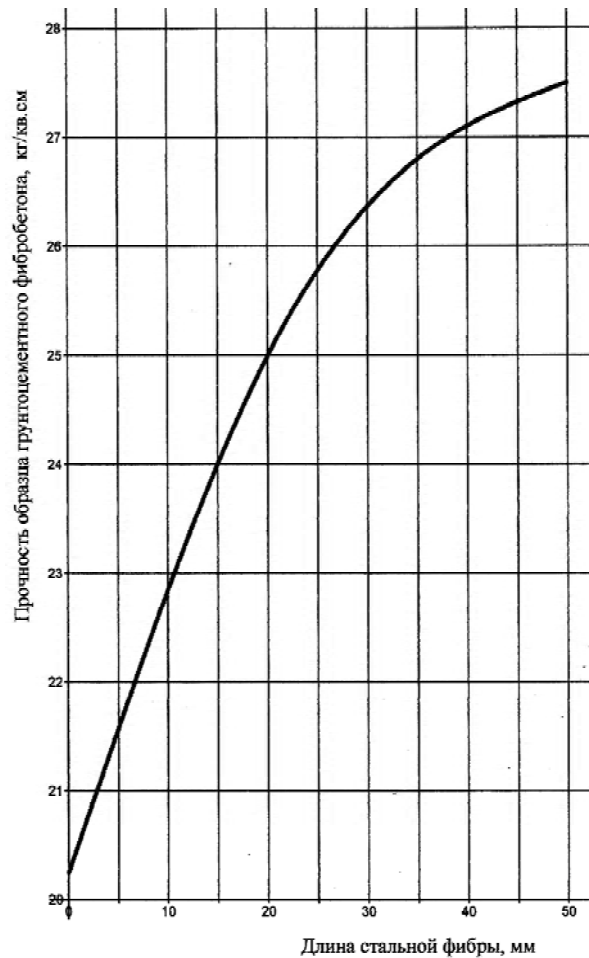


Рисунок 3 – Влияние длины стальной фибры на прочность грунтоцементного образца.

Работы по устройству буроналивных свай по методу «полого» шнека планируется выполнять буровым немецким агрегатом Bauer RG-20 с подачей бетона бетононасосом SHWING BPL-160 (технология CFA). Максимальная длина скважины при этом может составлять до 20 метров. Возможные диаметры скважины: 420, 520, 620 мм.

Преимущества данного метода:

- производство свай в самых сложных гидрогеологических условиях;
- отсутствие вибрации и высоких шумов в процессе производства (возможность возводить сваи в плотной городской застройке);
- электронный контроль качества работ (компьютер рисует сваю, которая получилась в грунте).

Таким образом, применение конструктивного решения фундамента жилого дома с использованием буроналивных свай из грунтофибробетона и «низкого» ростверка с комбинированным армированием позволяет рассчитывать на экономический эффект за счет исключения затрат на щебень, изготовление и установку традиционных армокаркасов свай (нередко дополнительно усиленных для обеспечения устойчивости при вдавливании), упрощения армокаркаса ростверка, а также сокращения затрат на приготовление фибробетонной смеси благодаря применению фибры из отработавших свой срок канатов грузоподъемных машин и использованию недорогих местных нерудных строительных материалов в качестве заполнителя.

Грунтобетоны на мелкозернистых песках

Исследована возможность приготовления грунтобетонов классов В3,5 и В5,0 на портландцементе с учетом опыта применения зимних кладочных цементно-песчаных растворов марок М25...М100, приготовленных на горных мелкозернистых песках с $M_{кр} \leq 1,1$, с введением пластифицирующих добавок или без них. Такие кладочные растворы прошли многолетнюю проверку в строительных организациях Сумщины [5].

Расход цемента в составе грунтобетона можно выразить формулой:

$$Q_{ц} = a \cdot \sqrt{R_{сж}} - b, \text{ кг/м}^3 \quad (2)$$

где $Q_{ц}$ – расход цемента для заданной прочности грунтобетона на сжатие $R_{сж}$, кг/см²;
 a – коэффициент, зависящий от прочности на сжатие проектируемого грунтобетона;
 b – коэффициент, зависящий от вида примененного пластификатора, качества песка и вида цемента.

Значения коэффициента «а» по опытным данным находятся в пределах:

марка цемента	коэффициент «а»
М300	35
М400	30
М500	26

Значения коэффициента «b» приведены в табл. 1.

Таблица 1 – Значения коэффициента «b»

Марка цемента	Вид грунтобетона	
	без пластификатора	с добавкой подмыленного щелока
300	3	23
400	-8	14
500	-15	3

В таблице 2 приведены сравнительные данные по расходу цемента, полученные по формуле (1), и взятые по лабораторным подборам составов.

Таблица 2 – Сравнительные данные по расходу цемента на 1 м³ грунтобетона

Вид грунтобетона	Расход цемента, кг/м ³	
	по формуле (1)	по лабораторному подбору состава бетона
Цементно-песчаный без пластификатора, прочностью $R_{сж}$, кг/см ² :	20	170
	45	230
Цементно-песчаный с добавкой подмыленного щелока, прочностью $R_{сж}$, кг/см ² :	20	130
	45	188

В качестве пластификатора применен подмыленный щелок (отходы мыловаренного производства) в количестве 0,2 кг твердого осадка, содержащего около 45 % жирных кислот. Осадок растворяется в подогретой до 60...70 °С воде и вводится в состав грунтобетона с водой затворения. Введение пластификатора позволяет снизить расход цемента до 20 %.

В исследованиях использован горный мелкозернистый песок с $M_{кр} \leq 1,1$, содержащий до 10 % пылеватых и илесто-глинистых примесей, в том числе до 3 % глины.

Разработанный грунтобетон рекомендуется для заливки стволов буронабивных свай и фундаментов в пробитых скважинах.

Шлакощелочной грунтобетон на супесчаных, суглинистых грунтах и их смесях

Получение высокопрочных грунтобетонов на клинкерных цементах практически невозможно, т. к. в них активными веществами служат соединения щелочеземельных металлов, в основном кальция. Невысокая активность кальция требует значительного расхода вяжущего и применения в бетонах заполнителей с ограниченным содержанием тонкодисперсных включений, особенно глин, обладающих более развитой удельной поверхностью в сравнении с цементом.

В пятидесятых годах прошлого века появилось новое гидравлическое вяжущее на основе тонкомолотого доменного гранулированного шлака и щелочных компонентов, наиболее активным из которых является низкомолекулярное жидкое натриевое стекло (с $M_c = 1...2$).

Проведенные исследования взаимодействия тонкодисперсных частиц заполнителей бетона с натриевым жидким стеклом показали, что пылеватые и глинистые частицы активно связывают Na_2O в процессе твердения шлакощелочного вяжущего. Физико-химические свойства шлакощелочного вяжущего позволяют применять в бетонах заполнители, содержащие до 20 % пылеватых и глинистых примесей, при этом содержание глины не должно превышать 10 % массы шлака в бетоне [6].

С учетом сказанного сырьевая база заполнителей бетона значительно расширяется, включая мелкозернистые пески, супеси, суглинки и их смеси.

Вяжущее шлакощелочное получается путем измельчения гранулированных шлаков (в том числе и ваграночных кислых Сумского завода «Центролит») и затворения их водными растворами соединений щелочных металлов натрия или калия, дающих щелочную реакцию в водной среде.

Для измельчения шлака могут использоваться шаровые, струйные и другие мельницы, обеспечивающие тонкость помола не менее $3\,000\text{ см}^2/\text{г}$ по прибору ПСХ-2 (остаток на сите № 008 с $4\,900\text{ отв./см}^2$ не должен превышать 15 % веса пробы). Затворение шлака производится водными растворами силикатных и несиликатных соединений щелочных металлов. Количество сухого щелочного компонента обуславливается заданной плотностью раствора, контролируемой ареометром. При работе в Сумских строительных организациях пользовались данными, приведенными в табл. 3.

Таблица 3 – Плотность водных растворов соединений щелочных металлов (при $t = +20\text{ }^\circ\text{C}$)

Плотность, г/дм^3	Содержание сухого вещества в 1 л, г				
	Na_2CO_3 (техническая сода)	$\text{Na}_2\text{O}\cdot\text{SiO}_2^*$	$\text{Na}_2\text{O}\cdot 1,8\text{SiO}_2^{**}$	Плав соды кальцинированной ^{***}	Содо- сульфатная смесь ^{****}
1 100	103	108	110	110	178
1 150	165	172	175	174	290
1 200	222	237	252	242	
1 250		298	295	290	

Примечания:

* – отходы Сумского Химпрома.

** – Сварена опытная партия (180 т) силикатной глыбы.

*** – Плав соды кальцинированной поставки Черкасского ПО «Азот» по ТУ113-03-479-86 (отходы производства капролактама).

**** – Содо-сульфатная смесь марки «А» поставки Чирчикского ПО «Электрохимпром» по ТУ113-02-23-19-83 (отходы производства).

На основе шлакощелочных вяжущих разработаны и массово применены мелкозернистые бетоны классов В3,5; В5; В7,5 на горных песках с $M_{кр} \geq 0,8$.

Применение более мелких песков, супесей, суглинков и их смесей возможно после предварительной лабораторной проверки, при этом содержание тонкодисперсных частиц не должно превышать вышеприведенных пределов.

Подбирать составы мелкозернистого шлакощелочного бетона следует экспериментальным путем, с учетом свойств тонкомолотого шлака, щелочного компонента и мелкозернистого заполнителя, варьируя соотношением шлака и заполнителя в пределах от 1:3 до 1:6 и разной плотностью водного щелочного раствора затворения бетонной смеси. Ориентировочно можно воспользоваться формулой:

$$Ш = \frac{П}{12 - 0,43 \cdot (R_{сж} - 50)}, \text{ кг/м}^3 \quad (3)$$

где Ш – расход молотого шлака, кг/м^3 ;

П – масса сухого мелкозернистого заполнителя, кг/м^3 ;

$R_{сж}$ – требуемая прочность грунтобетона на сжатие, кг/см^2 .

Расход компонентов вяжущего на 1 м^3 грунтобетона должен находиться в пределах:

– тонкомолотого шлака: min – 200 кг; max – 500 кг;

– щелочного компонента: min – 18 кг; max – 49 кг.

Шлакощелочные бетоны на щеберите

Щеберит – это отходы Глуховского щебеночного карьера в Сумской области, существующего уже более 110 лет. Щеберит представляет собой песчано-щебеночную смесь, состоящую из кварцевого

песка и остроугольных зерен раздробленного кварцитового камня, содержание которых составляет 12...17 % по массе. В составе щеберита присутствуют также тонкодисперсные частицы в среднем около 12 %, в том числе до 5 % глины, обволакивающей песчинки тонкой пленкой и придающей щебериту желто-оранжевую окраску.

Гранулометрический и химический составы компонентов щеберита представлены в табл. 4 и 5.

Таблица 4 – Гранулометрический состав щеберита

Остатки в %	Размеры отверстий сит, мм							
	10	5	3	1,2	1,63	0,315	0,15	дно
Частные	1	7	7	3	2	3,5	64	12,5
Полные	1	8	15	18	20	23,5	87,5	100

Таблица 5 – Химический состав компонентов щеберита

Наименование	п.п.п.	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO	SO ₃	Сумма
Щебень		98,79	0,14	0,16	0,10	0,12			99,31
Песок	0,53	95,7	0,61	0,80		0,56	0,4	следы	98,07
Глина	6,86	79,54	8,72	3,21	следы	0,76	0,45	следы	99,44

Минералогический состав щебня представлен в основном кварцем. Временное сопротивление сжатию находится в пределах 1 200...2 300 кг/см²; пористость 5,18 %; водопоглощение 0,36...4,43 %; сопротивление удару 50...140 ударов; износ в барабане Деваля 5,8...9,5 %; абсолютная плотность 2,64 г/см³.

Песок в основном состоит из кварца, содержащего некоторое количество гранита, ильманта, термалина и ставролита.

Тонкодисперсная составляющая щеберита представлена минералами кварца, гидрослюдой, каолинита, кальцита и гидроокислами железа. Содержание ее в составе щеберита значительно превышает допустимое стандартами для тяжелых бетонов, что является основной причиной складирования щеберита в отвалы, запасы которых оцениваются в 10 млн м³. Как комплексный заполнитель в цементных бетонах и асфальтобетонах щеберит не пригоден.

В шлакощелочных бетонах тонкодисперсная фракция щеберита активно взаимодействует со щелочным компонентом вяжущего, образуя водонерастворимые соединения, что позволяет применять щеберит в качестве комплексного заполнителя без его обогащения. Нами разработаны составы шлакощелочного бетона на щеберите классов В10...В30 с объемной плотностью ~ 2 200 кг/м³, прошедшие многолетнюю производственную проверку. Исследованы также свойства шлакощелочного бетона на щеберите в аспекте прочности, морозостойкости, коррозионной стойкости к воздействию сред животноводческих зданий, стойкости к попеременному увлажнению и высыханию, деформациям усадки и набухания. Исследованы свойства шлакощелочных вяжущих и возможности их регулирования. Обобщен технологический опыт приготовления бетонной смеси, укладки ее и выдерживания бетона в построечных и заводских условиях. Налажен массовый выпуск фундаментных блоков, бордюров, кормушек, товарного бетона [9]. Разработана техническая документация (стадия КМД) установки по приготовлению и подаче в дозаторы БСУ водных щелочных растворов затворения бетонной смеси.

ВЫВОДЫ

Использование грунтоцементного сталефибробетона является реальным решением проблемы затруднительного, а порой и невозможного погружения арматурных каркасов в тело буроинъекционных свай, сооружаемых по технологии «полого шнека». Это достигается за счет отказа от крупного заполнителя (щебня), а также, в ряде возможных случаев, и от самого арматурного каркаса или его части путем замены их грунтоцементным сталефибробетоном с заранее задаваемыми прочностными характеристиками, которыми можно управлять посредством современных высокоэффективных добавок, а также путем использования шлакощелочных бетонов на уникальных местных заполнителях, представляющих несомненный интерес как для сегодняшнего практического использования, так и для дальнейших исследований.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Пермикин, А. С. Влияние геометрических параметров фибр на приготовление и укладываемость сталефибробетона [Текст] / А. С. Пермикин, И. Г. Овчинников // Материалы Всеукраинской Интернет-конференции молодых ученых и студентов «Проблемы современного строительства» (21–22 ноября 2012 года) / М-во освіти і науки, молоді та спорту України, ПолтНТУ. – Полтава : ПолтНТУ, 2012. – С. 205–208.
2. Юрко, И. А. Высокопрочный дисперсно-армированный бетон [Текст] / И. А. Юрко // Материалы Всеукраинской Интернет-конференции молодых ученых и студентов «Проблемы современного строительства» (21–22 ноября 2012 года) / М-во освіти і науки, молоді та спорту України, ПолтНТУ. – Полтава : ПолтНТУ, 2012. – С. 262–264.
3. Янковский, Л. В. Применение пластификатора и пленкообразующего препарата для увеличения стойкости цементобетонных конструкций [Текст] / Л. В. Янковский // Материалы Всеукраинской Интернет-конференции молодых ученых и студентов «Проблемы современного строительства» (21–22 ноября 2012 года) / М-во освіти і науки, молоді та спорту України, ПолтНТУ. – Полтава : ПолтНТУ, 2012. – С. 265–268.
4. Грано, Н. В. Химические процессы в системе бетонной смеси и присутствии химической добавки «Релаксол» [Текст] / Н. В. Грано // Вісник Сумського національного аграрного університету: науковий журнал / М-во освіти і науки, молоді та спорту України, СумНАУ. – Суми, 2011. – Вип. 10: Будівництво. – С. 27–29.
5. Павлов, О. П. Залежність міцності розчину від витрати цементу [Текст] / О. П. Павлов, Л. М. Фомиця // Будівельні матеріали і конструкції. – К. : Будівельник, 1971. – № 1. – С. 35–37.
6. Васильева, Т. А. Взаимодействие шлакосиликатного вяжущего с пылеватыми и глинистыми добавками [Текст] / Т. А. Васильева, В. В. Константинов, А. П. Павлов // Строительные материалы. – М. : Стройиздат, 1975. – № 9. – С. 29–30.
7. Павлов, А. П. Комплексные исследования шлакощелочного бетона на щеберите [Текст] / А. П. Павлов // Вісник Сумського національного аграрного університету: науковий журнал / М-во освіти і науки, молоді та спорту України, СумНАУ. – Суми, 2011. – Вип. 10: Будівництво. – С. 40–44.

Получено 10.09.2013

О. П. НОВИЦЬКИЙ, О. П. ПАВЛОВ, О. І. ТЕЛІЧЕНКО, В. І. ШУШКЕВИЧ
ГРУНТОБЕТОНИ З ВИКОРИСТАННЯМ МІСЦЕВОЇ СИРОВИНИ Й
ВІДХОДІВ ВИРОБНИЦТВА
 Сумський національний аграрний університет

У Сумській області широке застосування одержали палі, що будуються безпосередньо на місці будівництва: буронабивні, буроін'єкційні, у пробитих шпарах. Стовбури цих палей виконуються із застосуванням традиційних в'язучих та заповнювачів. У наданій статті розглянуто питання застосування для цих цілей місцевих матеріалів і відходів виробництв, узагальнено наявний практичний досвід.

буронабивні палі, буроін'єкційні палі, грунтофібробетон, шлаколушний грунтобетон, щеберит

ALEXANDER NOVITSKIY, ALEXEY PAVLOV, ALEXANDER TELICHENKO,
VIACHESLAV SHUSHKEVYCH
SOIL CONCRETE WITH USING OF THE LOCAL MATERIALS AND THE WASTE
MATERIALS OF THE INDUSTRIAL PRODUCTION
 Sumy National Agrarian University

In the Sumy area bored and cast-in-place piles and root piles, raised in the building site have received a wide using. The bodies of these piles are carried out with using of the traditional concrete and components. In present article the questions of application for these purposes of local materials and a waste of manufactures have been considered, already available practical experience has been summarized.

cast in place piles, soil fiber concrete, slag alkali soil concrete, scheberit

Новицький Олександр Павлович – аспірант кафедри будівельних конструкцій Сумського національного аграрного університету. Наукові інтереси: сучасні методи фундаментобудування, вдосконалення якісних характеристик будівельних матеріалів і конструкцій.

Павлов Олексій Павлович – доцент кафедри будівельного виробництва Сумського національного аграрного університету. Наукові інтереси: використання місцевих матеріалів та відходів промислового виробництва у будівництві.

Теліченко Олександр Іванович – доцент кафедри будівельного виробництва Сумського національного аграрного університету. Наукові інтереси: використання місцевих матеріалів та відходів промислового виробництва у будівництві.

Шушкевич Вячеслав Ілліч – кандидат технічних наук, доцент кафедри будівельного виробництва Сумського національного аграрного університету. Наукові інтереси: діагностика будівельних конструкцій, оптимізація будівельних конструкцій, математичне моделювання та економіка будівельних конструкцій.

Новицкий Александр Павлович – аспирант кафедри строительных конструкций Сумского национального аграрного университета. Научные интересы: современные методы фундаментостроения, усовершенствование качественных характеристик строительных материалов и конструкций.

Павлов Алексей Павлович – доцент кафедры строительного производства Сумского национального аграрного университета. Научные интересы: использование местных материалов и отходов промышленного производства в строительстве.

Теличенко Александр Иванович – доцент кафедры строительного производства Сумского национального аграрного университета. Научные интересы: использование местных материалов и отходов промышленного производства в строительстве.

Шушкевич Вячеслав Ильич – кандидат технических наук, доцент кафедры строительного производства Сумского национального аграрного университета. Научные интересы: диагностика строительных конструкций, оптимизация строительных конструкций, математическое моделирование и экономика строительных конструкций.

Novitskiy Alexander – post-graduate student, Building Structures Department, Sumy National Agrarian University. Scientific interests: modern methods of foundation engineering, improving qualitative characteristics of building materials and structures.

Pavlov Alexey – associate professor, Building Construction Department, Sumy National Agrarian University. Scientific interests: usage of the local materials and the waste materials of the industrial production in construction.

Telichenko Alexander – associate professor, Building Construction Department, Sumy National Agrarian University. Scientific interests: usage of the local materials and the waste materials of the industrial production in construction.

Shushkevych Viacheslav – PhD (Eng), associate professor, Building Construction Department, Sumy National Agrarian University. Scientific interests: diagnostic of the building structures, optimization of the structures, modeling and economic of the building structures.