

УДК 692.23

Свирский Максим Николаевич

студент

E-mail: sw.maksim@mail.ru

Бочкарева Татьяна Михайловна

кандидат технических наук, доцент

E-mail: btm-tsp.ru@mail.ru

Пермский национальный исследовательский политехнический университет

Адрес организации: 614990, Россия, г. Пермь, Комсомольский проспект, д. 29

Исследование прочностных характеристик каменной кладки, армированной тканым композитным материалом

Аннотация

Постановка задачи. Цель исследования – выявить характер работы каменной кладки, выполненной на тонкослойных растворных и клеевых швах с использованием стеклоткани в качестве арматуры. Авторами статьи выявлена актуальность проблемы внедрения каменной кладки на тонких растворных швах при возведении зданий и сооружений.

Результаты. Проведен анализ существующих систем армирования каменной кладки, составлена общая схема их классификации. По результатам анализа нормативной, периодической литературы и патентного поиска определена необходимость разработки системы армирования кладки с использованием композитных тканых материалов в тонких растворных и клеевых швах [1-10]. Проведено экспериментальное исследование предлагаемой системы армирования. Описана методика проведения испытания, приведены схемы разработанных авторами образцов. Произведена первичная математическая обработка экспериментальных данных. Построена диаграмма предела прочности на изгиб испытуемых образцов. Сформулированы выводы по результатам проведенных испытаний.

Выводы. Значимость полученных результатов для строительной отрасли состоит в оценке эффективности предложенной системы армирования. Применение композитного материала в качестве армирующих слоев оказывает увеличение предела прочности кирпича на изгиб.

Ключевые слова: стеклоткань, композитные материалы, усиление кладки, армирование кладки, система армирования, каменная кладка, кирпичная кладка.

Введение

Армирование каменной кладки предназначено для предотвращения дефектов и повреждений каменных конструкций. Армирование горизонтальных швов каменной кладки служит для повышения трещиностойкости и несущей способности конструкций, надежной анкеровки слоев кладки в продольных и поперечных стенах.

Кладка зданий из изделий высокой точности изготовления получает все большее распространение, следовательно, вопросы армирования кладки с тонкими растворными швами становятся актуальными. Процесс выполнения кладки на тонких растворных и клеевых швах менее трудоемок, обладает меньшим расходом раствора, имеет пониженный коэффициент теплопроводности, кроме того, кладка на тонкослойных швах имеет повышенную несущую способность.

На основании анализа существующих методов армирования кладки авторами разработана классификация, представленная на рис. 1. Выявлено, что существующие методы армирования кладки, выполняемой на кладочных растворах, не исключают многих причин возникновения дефектов и повреждений каменных конструкций. Кладка, выполняемая из изделий высокой точности с тонкослойными неармированными швами, не обеспечивает повышение надежности каменных зданий и сооружений. Авторами предлагается разработать и исследовать характер работы системы армирования каменных конструкций на тонкослойных растворных швах, в том числе клеевых, с помощью тканого композитного материала.

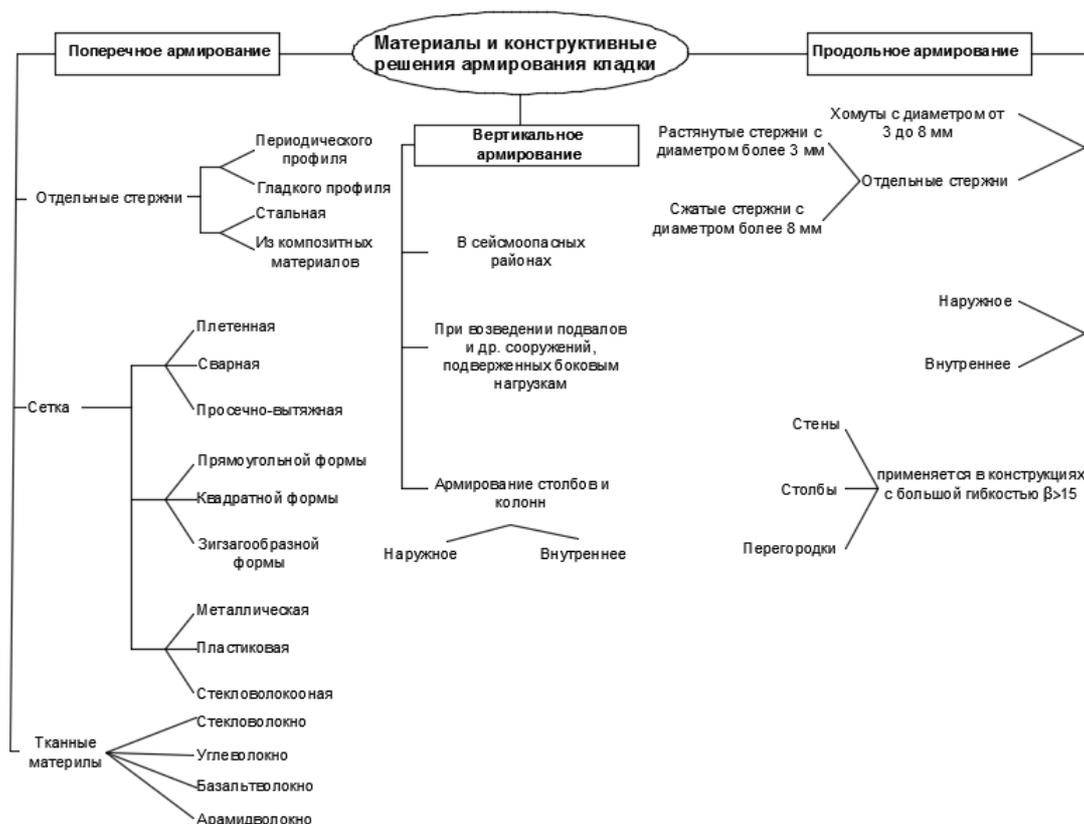


Рис. 1. Классификация методов армирования кладки

Описание образцов эксперимента

Определение влияния системы армирования ткаными материалами кладки на ее прочностные и деформационные характеристики проводилось на образцах, изготовленных из керамических полнотелых кладочных кирпичей. Схематичное отображение испытываемых образцов приведено на рис. 2.

Образцы изготавливались из полнотелого керамического кирпича КР-Р-ПО 250*120*65/1НФ/150/2,0/50/ГОСТ 530-2012.

Для выполнения образцов с тонкими швами толщиной 3-5 мм применялась клеевая растворная смесь М75 заводского изготовления в соотношении 1 кг сухого состава на 0,24 л воды.

В качестве армирующего материала использовалась стеклоткань. Стеклоткань значительно дешевле и доступней относительно других композитных материалов, таких как углеволокно, «Арамид», но при этом не уступает им по прочности на разрыв (табл. 1).

Таблица 1

Сравнение физико-механических характеристик различных композитных материалов и стали

Материал	Модуль Юнга, ГПа	Предел прочности при растяжении, МПа	Деформация при разрыве, %	Удельный вес, гр/см ³
Углеволокно	240-280	3500	1,6-1,73	1,75
Стекловолокно	85-90	2500	4,5-5,5	2,46-2,49
Арамид	120	3200	1,0-2,5	1,44
Сталь	206	250-400 (текучесть) 350-600 (разрыв)	20-30	7,8

Примечание: данные представлены из различных каталогов производителей данной продукции.

Описание эксперимента

На этапе экспериментальных работ проведены 4 серии испытания, в каждой из которых испытывались по 3 образца. Для проведения испытания все образцы были отобраны из одной партии кирпича. Образцы серии испытаний № 1 (рис. 2а) выполнены из кирпича с тонким слоем клевого раствора, нанесенного на постелистые грани кирпича. Образцы серии испытаний № 2 (рис. 2б) представляют собой изделие с армированием тонкого растворного шва тканым композитным материалом. Образцы серии испытаний № 3 (рис. 2в) моделируют каменное изделие с двойным армированием тонкого растворного шва тканым композитным материалом по нижней постелистой грани кирпича. Двойное армирование в нижней зоне, выполненное внахлест, моделирует анкерровку композитного тканого материала в каменной кладке. Образцы серии испытаний № 4 представляют собой полнотелые керамические кирпичи.

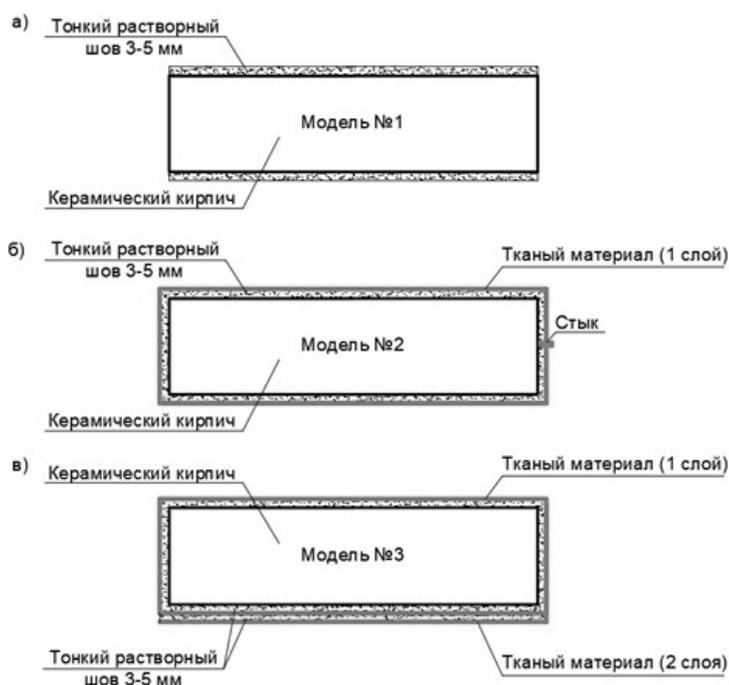


Рис. 2. Образцы моделей:

- а) полнотелый керамический кирпич с тонкими растворными швами без армирования (модель № 1);
- б) полнотелый керамический кирпич, армированный тканым материалом со стыком на тычковой грани (модель № 2);
- в) полнотелый керамический кирпич, армированный тканым материалом в два слоя в зоне растяжения (модель № 3)

Определение влияния системы армирования на прочность кладочных элементов на изгиб проводилось в соответствии с положениями ГОСТ 8462-85. Схема испытаний приведена на рис. 3.

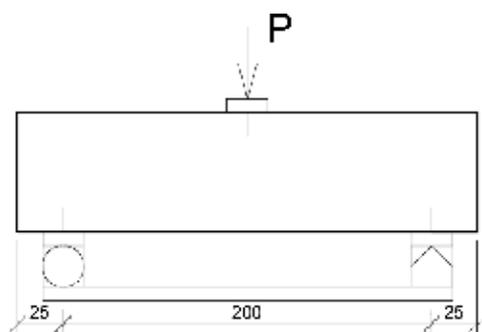


Рис. 3. Схема испытания кирпича на изгиб с использованием испытательной платформы ПИК

Разрушение образцов проводилось с помощью гидравлического пресса ПГМ-500МГ4А и испытательной платформы ПИК, имеющей две опоры на расстоянии 200 мм одна от другой. Общий вид гидравлического пресса и платформы ПИК представлен на рис. 4.



Рис. 4. Общий вид гидравлического пресса ПГМ-500МГ4А

С целью оценки прироста прочности на изгиб у кирпича с клеевыми растворными швами толщиной 3 мм (образцы модели № 1) проведена серия испытаний № 1 (рис. 2а). Для определения эффективности системы армирования тонкослойных клеевых швов тканым материалом (образцы модели № 2) проведена серия испытаний образцов № 2 (рис. 2б). Серия испытаний № 3 (рис. 2в) проведена с целью выявления наличия эффекта защемления армирующей ткани в массиве кладки (образцы модели № 3). Для оценки полученных результатов проведена серия испытаний № 4 (рис. 2г) кирпича без клеевого и армирующего слоя (образцы модели № 4).

Характер разрушения образцов всех типов моделей представлен на рис. 5.



Рис. 5. Характер разрушения второй партии образцов в каждой серии испытаний:
 а) полнотелый керамический кирпич с тонкими растворными швами без армирования (модель № 1);
 б) полнотелый керамический кирпич, армированный тканым материалом со стыком на тычковой грани (модель № 2);
 в) полнотелый керамический кирпич, армированный тканым материалом в два слоя в зоне растяжения (модель № 3); г) полнотелый керамический кирпич

Результаты экспериментов сведены в табл. 2.

Таблица 2

Результаты эксперимента по определению прочности на изгиб армированных образцов

Номер образца в сериях испытаний, №	Р – наибольшая нагрузка, установленная при испытании образца, кН			
	Серия испытаний № 1 (модель № 1)	Серия испытаний № 2 (модель № 2)	Серия испытаний № 3 (модель № 3)	Серия испытаний № 4 (модель № 4)
1	4,67	4,90	6,25	4,21
2	4,65	5,33	7,28	3,69
3	4,58	5,13	4,36	4,46

Наибольшим пределом прочности на изгиб обладают образцы моделирующие характер анкеровки системы армирования в массиве кладки, т.е. имеющие два слоя тканого материала в зоне растяжения, характер разрушения данных образцов представлен на рис. 6.

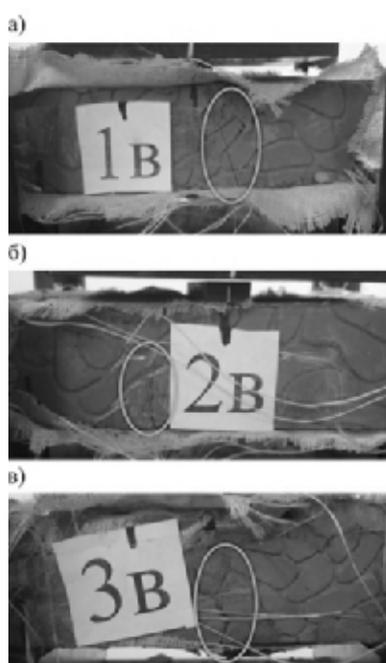


Рис. 6. Характер разрушения образцов с двойным армированием, расположенным в зоне растяжения

Образцы с двойным армированием, расположенным в зоне растяжения, не имеют полного разлома кирпичей по сравнению с неармированными образцами, а также отличаются наименее выраженными деформациями в виде несквозных трещин по сравнению с образцами кирпичей, выполненных с однослойным армированием.

Произведена первичная математическая обработка экспериментальных данных. По полученным результатам для каждой серии испытаний просчитаны среднеарифметические значения предела прочности на изгиб по формуле (1) и среднеквадратичное отклонение единичного результата по формуле (2). Результаты сведены в табл. 3.

$$\bar{y} = \frac{y_1 + y_2 + \dots + y_n}{n} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i, \quad (1)$$

где y_i – полученный результат эксперимента; n – число повторностей измерения.

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}, \quad (2)$$

Таблица 3

**Определение статических величин экспериментальных данных
для исключения грубых ошибок**

Серия испытаний №	Среднеарифметическое значение предела прочности на изгиб (\bar{y})	Среднеквадратичное отклонение (σ)
1	4,63	0,047
2	5,12	0,215
3	5,96	1,48
4	4,12	0,393

Исключены грубые ошибки из экспериментальных данных при помощи критерия Стьюдента (3):

$$\left| \frac{y_i - \bar{y}}{\sigma} \right| \geq t, \quad (3)$$

где t – значение из распределительной таблицы Стьюдента. Коэффициент Стьюдента в зависимости от доверительной вероятности P и числа степеней свободы f ($f=n-1$) принят равным $t=2,920$.

По результатам эксперимента определен предел прочности на изгиб, МПа (4). Результаты отображены на диаграмме, представленной на рис. 7.

$$R_{\text{изг}} = \frac{3 \cdot P \cdot l}{2 \cdot b \cdot h^2}, \quad (4)$$

где P – наибольшая нагрузка, установленная при испытании образца, МН;

l – расстояние между осями опор, м;

b – ширина образца, м;

h – высота образца в середине пролета без выравнивающего слоя, м.

Предел прочности при изгибе вычислен с точностью до 0,05 МПа, как среднеарифметическое значение результатов испытаний образцов из одной серии эксперимента. Значения предела прочности на изгиб у каждой модели образцов представлен на рис. 7.

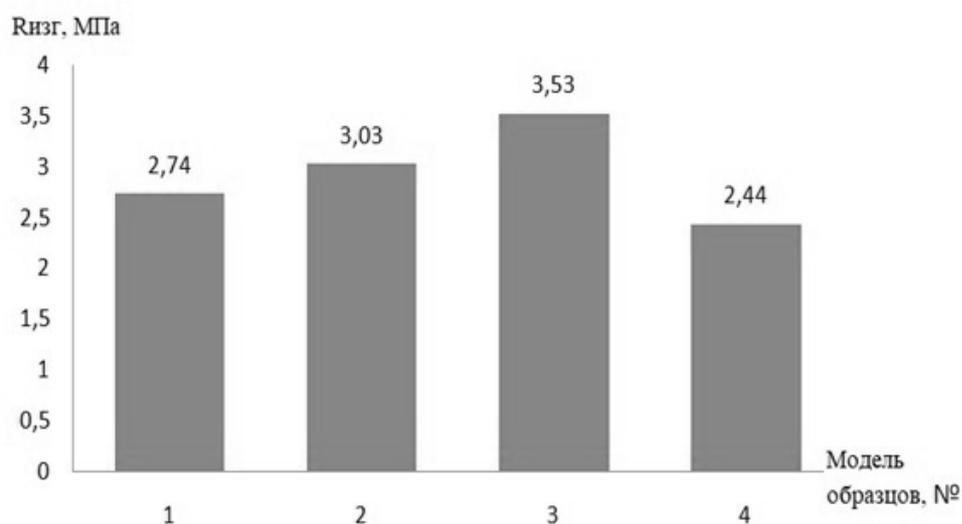


Рис. 7. Диаграмма предела прочности испытуемых образцов на изгиб:

- 1) полнотелый керамический кирпич с тонкими растворными швами без армирования (модель № 1);
- 2) полнотелый керамический кирпич, армированный тканым материалом со стыком на тычковой грани (модель № 2);
- 3) полнотелый керамический кирпич, армированный тканым материалом в два слоя в зоне растяжения (модель № 3);
- 4) полнотелый керамический кирпич

Заключение

По результатам проведенных испытаний сформулированы следующие выводы:

1. Наибольшим пределом прочности на изгиб обладают образцы с двойным слоем тканого материала в зоне растяжения (модель образцов № 3), моделирующие характер работы системы армирования в массиве кладки.

2. Кирпич на тонком растворном шве с армирующей тканью обладает пределом прочности на изгиб в 1,45 раз больше, по сравнению с прочностью кирпича без раствора и соответственно, без тканого армирования.

3. Эффективность предлагаемой системы армирования оценена в сравнении с моделью образца с неармированным растворным швом: предел прочности на изгиб образцов с армированием стеклотканью в один слой в нижней зоне превышает на 10,6 %, у образцов с двойным армированием в нижней зоне предел прочности на изгиб больше на 28,8 %.

4. Армированные образцы обладают наименее выраженным характером разрушения. Разрушение кирпича, армированного стеклотканью, происходит не по всей высоте кирпича без образования сквозных трещин и разломов. Стеклоткань служит оболочкой, сохраняющей целостную форму кирпича, даже после его разрушения.

Список библиографических ссылок

1. Стаценко А. С. Технология каменных работ в строительстве. Минск : Высшая Школа, 2010. 255 с.
2. Никулин В. С. Полимеркомпозитная арматура в каменной кладке стен / Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова. 2016. С. 896–899.
3. Деркач В. Н. Прочность нормального сцепления цементных растворов в каменной кладке // Инженерно-строительный журнал. 2012. № 7 (33). С. 6–13.
4. Грановский А. В., Джамуев Б. К., Доттуев А. И. Применение композитной сетки на основе базальтового волокна для усиления каменной кладки // Промышленное и гражданское строительство. 2016. № 5. С. 31–35.
5. Nardone F., Prota A., Manfredi G. Design criteria for FRP seismic strengthening of masonry walls // The 14th World Conference on Earthquake Engineering October 12-17, 2008, Beijing, China.
6. Michelis P., Papadimitriou C., Karaiskos G. Full-scale shake table experiments and vibration tests for assessing the effectiveness of textile materials for retrofitting masonry buildings // III ECCOMAS Thematic Conference on Computational Methods in Structural Dynamics and Earthquake Engineering May 25-28, 2011, Corfu, Greece.
7. Старцев С. А., Сундукова А. А. Усиление кирпичной кладки композитными материалами и винтовыми стержнями // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2014. № 6 (21). С. 17–31.
8. Хаткевич А. М., Гринев В. Д., Гиль А. И. Работа кирпичной кладки с сетчатой арматурой // Вестник Полоцкого Государственного Университета. серия f: Строительство. Прикладные науки. 2014. № 16. С. 20–27.
9. Jai J. C. Reinforcing masonry walls with composite materials. PhD dissertation. Stanford University. USA, 2000.
10. Comparison of mechanical properties of glass fiber/vinyl ester and carbon fiber/vinyl ester composites / Wonderly Christopher, Grenstedt Joachim, Fernlund Göran, Сёрус Elvis // Composites. B. 2005. № 5. P. 417–426.

Svirskiy Maksim Nikolaevich

student

E-mail: sw.maksim@mail.ru

Bochkareva Tatyana Mihailovna

candidate of technical sciences, associate professor

E-mail: btm-tsp.ru@mail.ru

Perm National Research Polytechnic University

The organization address: 614990, Russia, Perm, Komsomol'skii pr-t, 29

Research of strength characteristics of masonry reinforced with woven composite material

Abstract

Problem statement. The aim of the research – to reveal the nature of the work of masonry made on thin-layer mortar and glue seams using fiberglass as an armature. The authors of the article revealed the urgency of the problem of the introduction of masonry on thin mortar joints during the erection of buildings and structures.

Results. The analysis of existing systems of masonry reinforcement is carried out, the general scheme of their classification is made. Based on the results of the analysis of regulatory, periodical literature and patent searches, the need has been determined for the development of a masonry reinforcement system using composite woven materials in thin mortar and glue joints [1-10]. An experimental study of the proposed reinforcement system was carried out. The technique of the test is described, the schemes of the samples developed by the authors are given. The primary mathematical processing of the experimental data was carried out. The diagram of the ultimate strength for bending of the test samples is constructed. Conclusions on the results of the tests are formulated.

Conclusions. The significance of the results obtained for the construction industry is to assess the effectiveness of the proposed reinforcement system. The use of composite material as reinforcing layers has an increase in the strength of bricks for bending.

Keywords: fiber glass fabric, composite materials, strengthening of masonry, reinforcing of masonry, system of reinforcing, masonry, brickwork.

References

1. Statsenko A. S. Technology of stone works in construction. Minsk : Vysshaja shkola, 2010. 255 p.
2. Nikulin V. S. Polymer-composite reinforcement in masonry walls. / The international scientific and technical conference of young scientists BGTU of V.G. Shukhov. 2016. P. 896–899.
3. Derkach V. N. Strength of normal adhesion of cement mortars in masonry. // Inzhenerno-stroitel'nyy zhurnal. 2012. № 7 (33). P. 6–13.
4. Granovskii A. V., Dzhamuev B. K., Dottuev A. I. The use of a composite mesh based on basalt fiber to strengthen the masonry. Industrial and civil engineering. 2016. № 5. P. 31–35.
5. Nardone F., Prota A., Manfredi G. Design criteria for FRP seismic strengthening of masonry walls // The 14th World Conference on Earthquake Engineering October 12-17, 2008, Beijing, China.
6. Michelis P., Papadimitriou C., Karaiskos G. Full-scale shake table experiments and vibration tests for assessing the effectiveness of textile materials for retrofitting masonry buildings // III ECCOMAS Thematic Conference on Computational Methods in Structural Dynamics and Earthquake Engineering May 25-28, 2011, Corfu, Greece.
7. Startsev S. A., Sundukova A. A. Strengthening of brickwork with composite materials and screw rods. Construction of unique buildings and constructions. 2014. № 6 (21). P. 17–31.
8. Khatkevich A. M., Grinev V. D., Gil' A. I. The work of masonry with mesh fittings. Vestnik Polotskogo Gosudarstvennogo Universiteta. seriya f: Stroitel'stvo. Prikladnyye nauki. 2014. № 16. P. 20–27.
9. Jai J. C. Reinforcing masonry walls with composite materials. PhD dissertation. Stanford University. USA, 2000.
10. Comparison of mechanical properties of glass fiber/vinyl ester and carbon fiber/vinyl ester composites / Wonderly Christopher, Grenestedt Joachim, Fernlund Göran, Cēpus Elvis // Composites. B. 2005. № 5. P. 417–426.