УДК 620.22

А.А. Ларин, Г.А. Мерзляков, В.Б. Пономарев,
А.Г. Рафаилов, В.И. Резниченко
МАИ, ОАО «ВПК «КОНВЕРС-МИЛЬ», Россия

ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ИЗДЕЛИЙ ИЗ БАЗАЛЬТОВОГО НЕПРЕРЫВНОГО ВОЛОКНА В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Темой данной статьи являются вопросы расширения применения непрерывных базальтовых волокон в строительстве, производстве долговечных коррозионностойких труб, легких композитных профилей. Рассматриваются преимущества базальтовых волокон по сравнению с традиционно применяемыми материалами, проводится сравнение физико-механических свойств материалов. На примере трубопроводов определены конкурентные преимущества базальтопластиков. В статье проводится сравнительная оценка экономической эффективности замены традиционных материалов (бетон, металл и др.) на базальтопластики на основе непрерывных волокон.

Ключевые слова: *композиционные материалы, базальтовые непрерывные волокна, строительство, композитные трубы, профили, весовая эффективность.*

Базальтовые непрерывные волокна (БНВ) по ряду свойств (прочность, модуль упругости, химическая стойкость, теплостойкость и др.) превосходят стеклянные алюмоборосиликатные волокна. По своим упругопрочностным свойствам они занимают промежуточное положение между широко применяемыми алюмоборосиликатными (стекло марки «Е») и высокомодульными алюмомагнийсиликатными волокнами (стекло марки «S»). Последние же отличаются значительно более высокой стоимостью (~ 9 долл./кг). Поэтому диапазон использования более дешевых БНВ шире, чем у стеклянных волокон марки «S».

Главное преимущество БНВ состоит в значительно более высокой прочности и более высоком модуле упругости, значения которых примерно, в 1,5 раза выше, чем у волокон из алюмоборосиликатного стекла. Чаще всего БНВ применяют в виде жгута.

При создании новых мощностей по армирующим материалам для композитов в первую очередь следует развивать производство БНВ. При том же уровне капитальных вложений как в стекловолокно, такие производства будут выпускать значительно более эффективную продукцию, пользующуюся повышенным спросом на мировом рынках.

Базальтопластиковая арматура - современный композиционный материал, состоящий из ориентированных (направленных) базальтовых нитей (волокон), склеенных в пучок полимерным связующим – это перспективная, современная более прочная и дешевая альтернатива традиционно применяемой стальной арматуре.

Базальтопластиковая арматура сочетает в себе ряд очень важных свойств, выгодно отличающих ее от стальной арматуры:

- 100% адгезия с бетоном;
- равный с бетоном коэффициент линейного расширения;
- чрезвычайная устойчивость к агрессивным средам, в том числе к щелочной среде бетона;
- превосходит стальную арматуру по прочностным характеристикам и разрушающему напряжению;

- в несколько раз долговечнее арматуры из металла;

- принимая во внимание повышенные прочностные характеристики безальтопластиковой арматуры, для армирования одного и того же объема бетона, по массе базальтопластиковой арматуры потребуется в 4-10 раз меньше чем стальной, т.е. – применение 1 кг базальтопластиковой арматуры заменит 4-10 кг стальной.

Таблица 1. Характеристики базальтового ровинга

№ п/п	Наименование показателя	Значение
1.	*Физико-механические свойства*	
1.1.	Плотность, кг/м^3	2800-3000
1.2.	Предел прочности при растяжении нити 1200 текс, кН (кг), не менее	5096 (520)
1.3.	Предел прочности при растяжении нити 2400 текс, кН (кг), не менее	10192 (1040)
1.4.	Модуль упругости волокна, ГПа (кг/мм^2)	75-95 (7650-9690)
1.5.	Температура применения, ^{0}С	*От –200 до +700*
2.	*Текстильные характеристики*	
2.1.	Диаметр элементарного волокна, мкм	От 7 до 15
2.2.	Среднеквадратичное отклонение диаметров элементарного волокна, мкм, не более	$\pm$ 1
2.3	Линейная плотность первичной нити, текс*	От 50 до 140
2.4.	Линейная плотность ровинга, текс*	От 420 до 2540
3.	Химическая устойчивость (потери веса после 3-х часового кипячения, %)	
3.1.	В 2N - ой HCI	2,2
3.2.	В 2N – ой NaOH	6,0
3.3	В H_2O	0,2

Характеристики указаны для волокна, изготовленного из украинского базальтового сырья.

*) Текс - вес в граммах одного километра пучка первичных нитей.

Композитные профили имеют ряд существенных преимуществ перед традиционными материалами. По сравнению со стальными профилями они примерно в 4 раза легче и не подвержены коррозии и короблению. Значительно более высокие прочность и жесткость выгодно отличают композитные профили от широко применяемых поливинилхлоридных профилей. К тому же они имеют более широкий диапазон рабочих температур, значительно меньший коэффициент температурного линейного расширения, относятся к трудногорючим материалам и не выделяют при пожаре сильнодействующего газа диоксина.

В последнее время в строительстве и в других отраслях стали широко применяться стеклопластиковые профили, в том числе оконные. В отличие от деревянных профилей композитные профили не гниют, не подвержены короблению и не впитывают в себя влагу

Базальтопластиковые профили (БПП) представляют собой сравнительно новую продукцию, более высокая эффективность которой обусловлена преимуществами базальтовых волокон по сравнению со стеклянными волокнами.

Имеется возможность изготовления профилей круглого, овального, коробчатого и др. сечений по чертежам заказчика.

Таблица 2. Сравнение технических характеристик базальтопластиковой и стальной арматуры

Характеристики	Металлическая арматура класса А-Ш(А400С) ГОСТ 5781-82	Неметаллическая композитная арматура (базальтопластиковая арматура – БПА)
Материал	Сталь 35ГС, 25Г2С и др.	БПА- базальтовые волокна диаметром 10-16 мкм, связанные полимером
Временное сопротивление при растяжении, МПа	360	1300
Характер поведения под нагрузкой (зависимость «напряжение-деформация»)	Кривая линия с площадкой текучести под нагрузкой	Прямая линия с упруголинейной зависимостью под нагрузкой до разрушения
Коррозионная стойкость к агрессивным средам	Корродирует с выделением продуктов ржавчины	Нержавеющий материал первой группы химической стойкости, в том числе к щелочной среде бетона
Теплопроводность, Вт/м*К	40 – 60	0,34 – 0,46
Экологичность	Экологична	Имеется санитарно-эпидемиологическое заключение, не выделяет вредных и токсичных веществ
Долговечность	По строительным нормам	Прогнозируемая долговечность не менее 100 лет
Замена металлической арматуры на равноценную по физико-механическим свойствам БПА (выигрыш в диаметре)	6 А-Ш 8 А-Ш 10 А-Ш 12 А-Ш 14 А-Ш 16 А-Ш 18 А-Ш 20 А-Ш	3,5 БПА 4,5 БПА 5,5 БПА 7 БПА 8 БПА 9 БПА 10 БПА 11 БПА

Примечание: при подсчете эффективности замены металлической арматуры на базальтопластиковую следует сравнивать стоимость погонного метра БПА с учетом меньшей толщины композита.

Базальтопластиковые трубы. Производство труб основано на высокопроизводительной непрерывной российской технологии, не имеющей мировых аналогов и обеспечивающей конкурентоспособность базальтопластиковых труб (БПТ) по сравнению с традиционно применяемыми стальными и чугунными трубами, а также трубами из термопластичных материалов (полиэтилен, поливинилхлорид, полипропилен).

Основными потребителями БПТ являются такие отрасли, как строительство, жилищно-коммунальное хозяйство, сельское хозяйство, нефтяная, химическая и пищевая промышленности, а также электроэнергетика.

Среди всего многообразия этих труб можно выделить следующие наиболее важные секторы сбыта:

1. Водоснабжение и канализация (системы водоочистки и опреснения, наружные, внутриквартальные и внутридомовые сети, очистка сточных вод).
2. Тепловые сети горячего водоснабжения (трубы для канальной прокладки и предизолированные трубы для бесканальной или наружной прокладки).
3. Системы ирригации и мелиорации в сельском хозяйстве.
4. Системы первичного нефтесбора, отвода пластовых вод, системы повышения пластового давления, насосно-компрессорные и обсадные трубы для нефтяной промышленности.
5. Трубы для транспортировки агрессивных сред в химической и нефтехимической промышленности.
6. Системы химводоподготовки и конденсатопроводы в электроэнергетике.
7. Трубы для транспортировки жидких пищевых продуктов.
8. Антенно-мачтовые конструкции.

Конкурентные преимущества базальтопластиковых труб. Рынок сбыта труб практически в любой развитой стране достаточно емкий и предполагает существенную конкуренцию между участниками. Для успешной конкурентной борьбы необходимо учесть потребности целевой группы потребителей и выявить конкурентные преимущества производимой продукции.

Среди основных преимуществ труб из композитов можно выделить следующие:

- Высокая удельная прочность. Имея прочность на уровне стальных труб, трубы из ПКМ (полимерных композиционных материалов) легче их примерно в 4 раза;
- Высокая теплостойкость (температура транспортируемых сред до 135°C);
- Пригодность для наружной прокладки трубопроводов (стойки к солнечной радиации, допускают приемлемые межпролетные расстояния при прокладке на опорах);
- Надежная эксплуатация в условиях ударных и вибрационных нагрузок;
- Высокая коррозионная стойкость, надежность, долговечность (служба до 60 лет);
- Минимальные затраты на монтаж и обслуживание, высокая ремонтопригодность;
- Гладкая внутренняя поверхность, малое гидравлическое сопротивление;
- Отсутствие “зарастания” внутреннего сечения;
- Пригодность для хозяйственно-питьевого водоснабжения и транспортировки жидких пищевых продуктов;
- Обеспечение энергосбережения в тепловых сетях;
- Возможность изготовления продукции с высоким уровнем пожарной безопасности.

Конкурентоспособность труб из ПКМ и, в частности, БПТ выявляется при сопоставлении сравнении их с ближайшими субститутами (товары-заменители), а именно наиболее широко применяемыми стальными трубами, и трубами из термопластичных материалов и бетонными трубами.

Сравнение с металлическими трубами

До сих пор во многих странах мира находят наибольшее применение трубы из углеродистых сталей. Их очевидными недостатками являются малый срок службы, низкая надежность, экологически вредные примеси в питьевой воде. Однако данные недостатки компенсируются умеренной стоимостью этих труб. Тем не менее, изношенное состояние трубопроводов стало столь критичным, что встал вопрос о стратегическом значении проблемы замены стальных труб на полимерные. Хотя в мировой практике существует много методов защиты стальных труб, ни один из них не является достаточно надежным и экономичным. Имея несомненные преимущества по надежности и долговечности, трубы из ПКМ за последнее время, вследствие значительного удорожания стали, вполне конкурируют со стальными трубами и по стоимости.

Согласно полученной информации, цена стальных труб колеблется в пределах 800-850 долларов за тонну. Удельная цена труб из ПКМ в сильной мере зависит от диаметра и колеблется в пределах 5-7 долларов за один килограмм пластика, то есть, по весовой цене композитные трубы проигрывают стальным трубам в 6-8 раз. Для сопоставления цен одного погонного метра трубопровода следует учитывать несколько обстоятельств:

1. Стеклопластики и базальтопластики имеют удельный вес в 4,3 раза меньше, чем у стали;
2. Толщина труб из ПКМ зачастую меньше стальных труб, так как в стальной трубе предусматривается, как правило, запас на коррозию;
3. Применение стальных труб связано с такими дополнительными затратами как на мероприятия по антикоррозионной и электростатической защите;
4. Затраты на монтаж трубопроводов из ПКМ обычно существенно ниже, чем затраты на монтаж стальных труб;

Как показывают расчеты в пересчете на один погонный метр, трубы из ПКМ вполне успешно конкурируют по стоимости со стальными трубами.

Сравнение с трубами из термопластичных материалов

К термопластам относятся такие материалы, как полиэтилен, полипропилен, поливинилхлорид и т.д. Что касается полиэтиленовых или поливинилхлоридных труб, то они особенно эффективны при подземной прокладке низконапорных систем холодного водоснабжения и внутригородских и районных газопроводов. В то же время, далеко не все существующие потребности покрываются этими трубами. С увеличением давления и температуры среды, а также диаметра трубопроводов применение труб из полиэтилена или поливинилхлорида становится весьма ограниченным, неэкономичным или даже совсем невозможным.

Полипропиленовые трубы (точнее, трубы из материала рандом-сополимер) с успехом применяются во внутридомовых системах горячего водоснабжения (стояки, разводка внутри квартир). Технологические ограничения по диаметру труб, низкая прочность, склонность к развитию трещин, высокий коэффициент температурного расширения - факторы, не позволяющие масштабно применять полипропиленовые трубы.

В последнее время проводится широкомасштабная рекламная кампания, направленная на применение для тепловых систем труб из сшитого полиэтилена. Наиболее перспективным для теплоснабжения считается поперечно-сшитый материала РЕХ-а. На сегодняшний день в полной мере технологией производства труб РЕХ владеют несколько фирм: Wirsbo (Швеция), Rehau (Германия), Golan(Израиль), а также Совместное российско-израильское предприятие «Голан-Пласт» на базе завода «АНД Газтрубпласт», г. Москва. Однако практика использования этих труб показала, что срок их службы в существенной мере зависит от давления и температуры. Даже в случае кратковременного повышения этих параметров в верхней части допускаемого поля их изменения срок службы труб РЕХ резко сокращается и не соответствует представленным в рекламе показателям.

Из проведенного анализа следует, что трубы из ПКМ и трубы из термопластов занимают разные сегменты рынка. В сегментах труб диаметром более 300 мм, особенно в сложных условиях эксплуатации по давлению и температуре, композитные трубы имеют несомненное преимущество.

Сравнение с трубами из минеральных материалов

Во многих странах мира продолжают достаточно широко применяться бетонные, керамические и асбоцементные трубы. Отличительными особенностями этих труб являются относительная дешевизна и невысокая прочность. Такие трубы целесообразно использовать в первую очередь для безнапорной канализации. С целью расширения области их применения может использоваться такой прием, как усиление (армирование) труб из минеральных материалов стеклянными волокнами. Так, например, известная фирма Амиантит (Саудовская Аравия) выпускает бетонные армированные трубы [Reinforced Concrete (RC)] в диапазоне диаметров от 300 до 1500 мм. Однако по удельной прочности (прочность, отнесенная к удельному весу) армированный бетон значительно уступает стеклопластику или базальтопластику. Обусловлено это тем обстоятельством, что весовая доля армированных волокон, в первую очередь определяющих прочность и жесткость материала, в ПКМ составляет в среднем 70%. В армированном бетоне в связи с технологическими ограничениями этот показатель не превышает 40%. В связи с этим бетонные армированные трубы получаются значительно тяжелее труб из ПКМ и их монтаж связан с существенно бо́льшими затратами

Изготовление бетонных труб, усиленных стеклянными волокнами, связано еще с одной серьезной проблемой. Как известно, наиболее широко применяемое в подобных целях стекло марки «Е» имеет низкую химическую стойкость в щелочной среде, которая имеет место в твердеющем бетоне. Другим преимуществом является более высокий модуль упругости, что обусловливает их лучшую совместимость с бетонной матрицей. По этим причинам компания Амиантит проявляет значительный интерес к базальтовому волокну, и закупила его в России для проведения опытных работ по трубам RC.

Сравнение с чугунными трубами

За последние годы была разработана новая технология получения высокопрочного чугуна с шаровидным графитом {Ductile Iron (DI)}. За счет особой фракции шаровидного графита чугун приобретает пластичность и прочность, а также снижается риск образования и распространения трещин. В тоже время сохраняются такие его преимущества, как коррозионная стойкость и технологичность при переработке методом литья. Фирма Амиантит по французской лицензии приобрела завод по изготовлению труб из DI, отличающийся высокой степенью автоматизации и производительности. Завод выпускает трубы диаметром от 200 до 1500 мм.

Трубы из DI естественным образом конкурируют с трубами из ПКМ {GRP} в таких сегментах рынка как водоснабжение (в том числе, горячее водоснабжение) и канализация. Однако сопоставление этих труб, выпускаемых одной и той же фирмой, по стоимости указывает на несомненное преимущество стеклопластиковых труб. Это преимущество обусловлено значительно более высокой массой труб из DI и значительными капиталовложениями в строительство такого завода.

Сравнение с традиционными трубами по стоимости

Особенный интерес у Заказчика вызывает сравнение труб из ПКМ с традиционными трубами по стоимости выпускаемой продукции и монтажа. Ниже приведены конкретные примеры экономического сравнения стальных, полиэтиленовых труб и труб из ПКМ. Для этого рассмотрены 4 типоразмера труб для холодного водоснабжения при давлении 1 МПа.

Таблица 3. Цены на трубы, долл. США

Внутр. диам., мм	Трубы из углеродистой стали			Полиэтиленовые трубы			Стеклопластиковые трубы		
	толщина мм	масса кг/м.п	цена м.п	толщина мм	масса кг/м.п	цена м.п	толщина мм	масса кг/м.п	цена м.п
100	4	10,20	8,5	11	4,22	7	3,5	2,06	16
200	6	30,31	24	21	16,00	43	5	5,84	38
300	7	52,70	43	32	36,70	98	6	10,46	67
500	8	99,66	80	52	78,56	198	7	20,23	133

Приведенный анализ показывает, что по массе трубы из ПКМ значительно превосходят и стальные и полиэтиленовые трубы, однако по стоимости они уступают стальным трубам. И теперь за заказчиком остается право какие трубы выбирать.

Надійшла до редколегії 23.05.2012 р.

A. Larin, G. Merzlyakov, V. Ponomarev, A. Rafailov, V. Reznichenko

FEATURES OF PRODUCTION FROM BASALT CONTINUOUS FIBERS IN CONSTRUCTIONS

The themes of this paper are the issues of expanding the use of continuous basalt fibers in construction, in production durable corrosion-resistant pipes, lightweight composite profiles. Also, consider the advantages of basalt fibers as compared to traditionally used materials, a comparison of physical and mechanical properties. In the case of pipelines there were defined the competitive advantages of basalt plastics. The article presents a comparative evaluation of cost-effectiveness of replacing traditional materials (concrete, metals, etc.) on plastics based on basalt continuous fibers.

Keywords: *composite materials, basalt continuous fibers, constructions, composite tubes, profiles, weight efficiency.*

А.А. Ларін, Г.А. Мерзляков, В.Б. Пономарьов, А.Г. Рафаїлов, В.І. Резніченко

ОСОБЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ВИРОБІВ З БАЗАЛЬТОВИХ БЕЗПЕРЕРВНИХ ВОЛОКОН У БУДІВНИЦТВІ

Темою цієї статті є питання розширення застосування безперервних базальтових волокон в будівництві, виробництві довговічних корозійностійких труб, легких композитних профілів. Розглядаються переваги базальтових волокон в порівнянні з традиційно застосовуваними матеріалами, проводиться порівняння фізико-механічних властивостей матеріалів. На прикладі трубопроводів визначені конкурентні переваги базальтопластіки. У статті проводиться порівняльна оцінка економічної ефективності заміни традиційних матеріалів (бетон, метал та ін.) на базальтопластіки на основі безперервних волокон.

Ключові слова: *композиційні матеріали, базальтові безперервні волокна, будівництво, композитні труби, профілі, вагова ефективність.*