Второй практический семинар «Применение углеволокнистых материалов в строительстве» 2 ноября 2010 года, г. Москва



КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ В КОНСТРУКЦИЯХ МОСТОВ

Генеральный директор НПП «АпАТэК» д.т.н., профессор А.Е. Ушаков

Композиционные материалы в конструкциях мостов

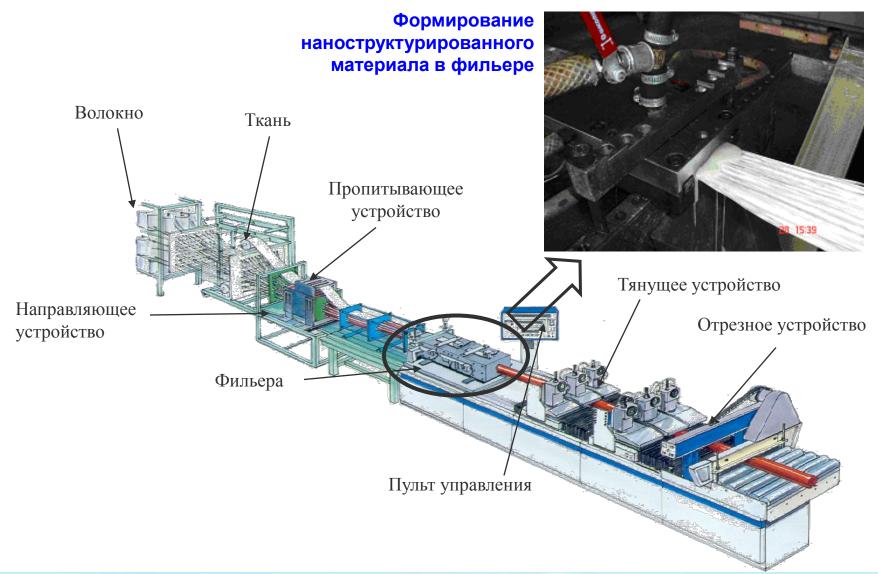




- Применение нанотехнологий при создании мостовых конструкций из композиционных материалов
- Эффективность применения нанотехнологий при создании мостовых конструкций из композиционных материалов
- Опыт создания мостовых конструкций из наноструктурированных композиционных материалов
- Расчёт эффективности применения углепластика в мостовых конструкциях
- Перспективы применения композиционных материалов в автодорожных мостах

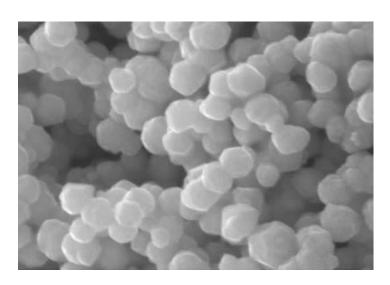
ОСНОВНЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ПУЛТРУЗИЯ И ВАКУУМНАЯ ИНФУЗИЯ





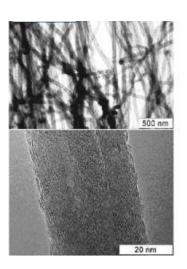
ПРИМЕНЯЕМЫЕ НАНОМАТЕРИАЛЫ

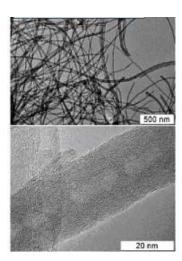




ПОРОШКООБРАЗНАЯ НАНОМЕДЬ

- Повышение огнестойкости композиционных материалов,
- Снижение внутренних напряжений в композиционном материале при формовании
- Объём применения: 0.1..0.8 % от массы конструкции
- Серийно производится в России





УГЛЕРОДНЫЕ НАНОТРУБКИ (УНТ)

- Стабилизация процесса формования
- Повышение трещиностойкости конструкций
- Объём применения: 0.01..0.05 % от массы конструкции
- Серийно производится в России

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ УГЛЕРОДНОГО ВОЛОКНАВ ТЕХНОЛОГИЯХ ПУЛТРУЗИИ И ВАКУУМНОЙ ИНФУЗИИ





Структура гибридного материала



Тех. процесс	Упруго-прочностные характеристики	Стекло- пластик	Углестекло- пластик
Путануруа	Модуль упругости при растяжении, ГПа	32,3 2.9 %	56,2 6.4 %
Пултрузия	Модуль упругости при сжатии, ГПа	29,5 4 %	55,4 6.6 %
Вакуумная	Модуль упругости при растяжении, ГПа	36 4,3 %	75 3,1 %
инфузия	Модуль упругости при сжатии, ГПа	32 4,6 %	70 5,7 %

ПОЛУЧЕНИЕ ОГНЕСТОЙКИХ СТЕКЛОПЛАСТИКОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НАНОМЕДИ



Повышение огнестойкости стеклопластика Официальные результаты испытаний МЧС РФ

СВОЙСТВО	ЧИСТАЯ МАТРИЦА	МАТРИЦА+ nCu
Температура отходящих газов, °С	184	105
Время самоподдерживающегося горения, с	29	26
Продольное повреждение образца, %	15	12
Потеря массы образца, %	2	1



Пултрузионный профиль на основе связующего, модифицированного порошкообразной наномедью



ПОЛУЧЕНИЕ ОГНЕСТОЙКИХ КОНСТРУКЦИЙ МЕТОДОМ ВАКУУМНОЙ ИНФУЗИИ





ПРИМЕНЕНИЕ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК ДЛЯ СТАБИЛИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА





Без использования УНТ



С использованием УНТ

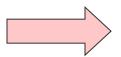
Использовался концентрат эпоксидной смолы, содержащий 5 % шестислойных трубок «Таунит М»:

- •наружный диаметр 8-15 нм
- •внутренний диаметр 4-8 нм
- •длина 2 и более мкм
- •общий объём примесей до 1%
- •удельная поверхность 300 м²/г
- насыпная плотность 0,03-0,05 г/см³
- •термостабильность до 600 °C

Подтверждено, что многослойные УНТ позволяют регулировать структурообразование полимерной матрицы и тем самым управлять размеростабильностью пултрузионных профилей, обеспечивая высокую производительность и требуемый уровень качества

Композиционные материалы в конструкциях мостов





- Применение нанотехнологий при создании мостовых конструкций из композиционных материалов
- Эффективность применения нанотехнологий при создании мостовых конструкций из композиционных материалов
- Опыт создания мостовых конструкций из наноструктурированных композиционных материалов
- Расчёт эффективности применения углепластика в мостовых конструкциях
- Перспективы применения композиционных материалов в автодорожных мостах

СНИЖЕНИЕ ЗАТРАТ НА ЭКСПЛУАТАЦИЮ МОСТОВЫХ КОНСТРУКЦИЙ НА ЖИЗНЕННОМ ЦИКЛЕ В 70 ЛЕТ



В США в 1994 г. приказом Президента (Executive Order 12893 section 2, item (2), of January 26, 1994 Principles for Federal Infrastructure Investments) установлена необходимость учета общей стоимости жизни при принятии решений по выделению федеральных средств

В Европе и США для оценки жизненного цикла конструкций разработана и используется специальная методика LCA (Life Cycle Assessment), регламентированная в международных стандартах ISO14040, ISO14044



ПРИМЕР: Сравнение эксплуатационных расходов на мост для г.Адлера

Тип конструкции	Mac	са кон (тон		ции	Стоим	иость к (тыс.		укции	стоимость (тыс. руб.)	эк	сплуат	тоимос ационн гыс. ру	ых зат	рат	l	ссплуат		ъ с учет ых затр 5.)	I
Тип кон	Опоры	Пролеты	Сходы	Общая	Опоры	Пролеты	Сходы	Общая	Общая с проекта, (5 лет	15 лет	30 лет	50 лет	70 лет	5 лет	15 лет	30 лет	50 лет	70 лет
Железо- бетон	94	128	123	345	3280	3769	664	7623	18123	285	8578	27759	81967	139738	18408	26700	54881	100090	157861
Металл	86	53	51	189	2988	4164	663	7815	18315	247	8222	26245	78494	114986	18562	26536	44559	96809	133301
Композит	44	20	25	83	1800	5650	6300	13750	24250	0	601	2528	8706	15098	24250	24850	26777	32956	39348

ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ НА ВСЁМ ЖИЗНЕННОМ ЦИКЛЕ МОСТОВОЙ КОНСТРУКЦИИ



ПРИМЕР: Сравнение затрат на содержание типового композитного, железобетонного и металлического моста (покраску, гидроизоляцию, ремонт покрытий, заделку трещин и т.д.)

	Композит	Железобетон	Метал
Энергозатраты на обслуживание в год на 1 кв.м. мостовой конструкции	1058 кВт/ч 4 050 тыс. руб.	6282 кВт/ч 26 700 тыс.руб.	2870 кВт/ч 12 200 тыс.руб.
Энергосбережение при использовании композита по сравнению с другими материалами на жизненном цикле 50 лет		261.2 МВт/ч	90.6 МВт/ч
Средняя стоимость 1 кв.м. мостовой конструкции, (данные «АпАТэК»)	71 тыс.руб.	21 тыс.руб.	34 тыс.руб.
Окупаемость композита по сравнению с железобетоном и металлом за счёт энергосбережения		2.25 года	4.8 года

По данным исследования компании BECO Group (Голландия), выполненном в мае 2009 г., если мост длиной 12 метров изготовить из композита вместо бетона или стали, то экономия энергии составит 2700 и 1300 ГДж соответственно.

Например, в провинции Утрехт в ближайшем будущем планируется заменить 169 мостов. Если эти мосты изготовить из стеклопластика, то экономия энергии будет равна годовому энергопотреблению 27000 домов.

СНИЖЕНИЕ ВРЕДНЫХ ВЫБРОСОВ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ И ЭКСПЛУАТАЦИИ





^{*}Из доклада «In Search of Optimal Shapes for Composite Bridges», Ryszard A. Daniel, Ministry of Transport & Water Management, Utrecht, The Netherlands, конференция «COBRAE CONFERENCE 2007», г.Штутгарт, Германия, 28-30 марта, 2007 г

Композиционные материалы в конструкциях мостов

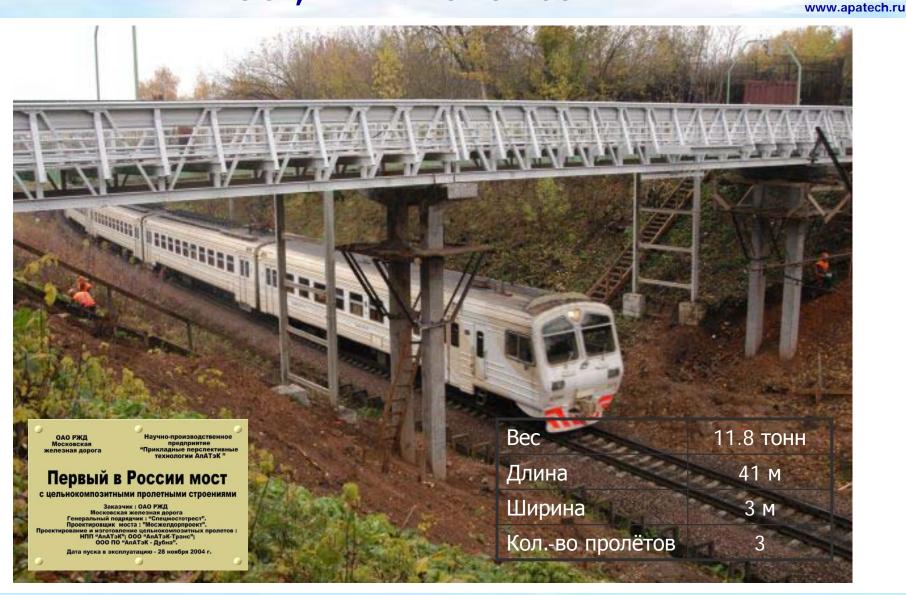


- Применение нанотехнологий при создании мостовых конструкций из композиционных материалов
- Эффективность применения нанотехнологий при создании мостовых конструкций из композиционных материалов



- Опыт создания мостовых конструкций из наноструктурированных композиционных материалов
- Расчёт эффективности применения углепластика в мостовых конструкциях
- Перспективы применения композиционных материалов в автодорожных мостах

ПЕРВЫЙ РОССИЙСКИЙ ЦЕЛЬНОКОМПОЗИТНЫЙ ДЕЛЬНОКОМ ТОЗИТНЫЙ ДЕЛЬНОВО 2004 Г.



ПЕРВЫЙ КОМПОЗИТНЫЙ МОСТ СО СХОДАМИ, КОСИНО (МОСКВА), 2005



Вес	55 тонн	
Длина	47 м	
Ширина	5 м	
Пролётов	2	

ЗАКЛЮЧЕНИЯ ЭКСПЛУАТИРУЮЩИХ ОРГАНИЗАЦИЙ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ОБСЛЕДОВАНИЯ МОСТОВ



на о.п.Косино и о.п.Чертаново Московской ж.д. в июле 2010 года

- Конструкции пролетных строений и лестничных сходов соответствуют КД и находятся в удовлетворительном состоянии
- С момента сдачи объекта в эксплуатацию до настоящего времени дополнительных эксплуатационных затрат не потребовалось кроме очистки панелей от граффити





Наименование и расположение объекта	Срок эксплуатации	Эксплуатационные затраты
Пешеходный мост пл. Чертаново	6 ЛЕТ	Затраты на закрашивание фрагментов граффити на
Пешеходный мост, пл. Косино	5.8 ЛЕТ	зашивках перильных ограждений

КОМПОЗИТНЫЙ НАСТИЛ НА ПЕШЕХОДНОМ ПЕРЕХОДЕ НА 23 КМ ЛЕНИНГРАДСКОГО ШОССЕ, 2006 Г.









ОЦЕНКА ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ применения композитного настила www.apatech.ru

	НАИМЕНОВАНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ И РАБОТ	_	ачальный оект	Вариант моста с настилом из ПКМ					
	HAVIMENOBANIE SJIEMENTOB II PABOT	масса, тонн	стоим. тыс.руб.	масса, тонн	стоим. тыс.руб.				
1	Металлоконструкции пролётного строения	84.01	6918	63.01	5188				
2	Монтаж пролетного строения (включая сборку, перевозку, монтаж) без учета стоимости м/к	84.01	2358	63.01	1768				
3	Ж/б плита пролетного строения (включая гидроизоляцию, плиточное покрытие)	110.22	482	-	-				
4	Устройство ж/б плиты пролетного строения (включая гидроизол. и плитку покрытия) без учёта стоимости ж/б плиты	110.22	4363	-	-				
5	Настил из ПКМ	-	-	8.4	5343				
6	Устройство настила из ПКМ	-	-	8.4	127				
	всего:	194.23	14121	71.41	12427				
	Экономический эффект на этапе строительства 1 694 000 руб								

МОБИЛЬНЫЙ СБОРНО-РАЗБОРНЫЙ МОСТ «АПАТЭК», МОСКВА, 2006 год





УСТАНОВКА МОСТА НА САДОВОМ КОЛЬЦЕ 3 ДЕКАБРЯ 2006 ГОДА







Время монтажа: 20 минут

ГИБРИДНЫЕ МОСТОВЫЕ КОНСТРУКЦИИ «АПАТЭК» (2005-2007 Г.Г.)











МОСТ НА ПЛАТФОРМЕ ТЕСТОВСКАЯ (МОСКВА), 2007 ГОД





Начало работ по созданию нового моста – 10 апреля 2007 года



Время создания композитного моста от начала проектирования до установки на место составило 2 месяца

МОСТ С ПОДСВЕТКОЙ, 2007 г.

у Художественного музея г.Сочи, подарок «АпАТэК» будущей олимпийской столице







Длина	12.8 м
Ширина	1.6 м
Высота строения	0.33 м
Высота перильного ограждения	0.9 м

ПЕШЕХОДНЫЙ НАСТИЛ НА МОСТУ ЧЕРЕЗ ПЛАТФОРМУ ДЕПО, Г.МОСКВА (2008 Г.)





АРОЧНЫЙ МОСТ В ПАРКЕ 50-ЛЕТИЯ ОКТЯБРЯ, Г.МОСКВА (2008 Г.)





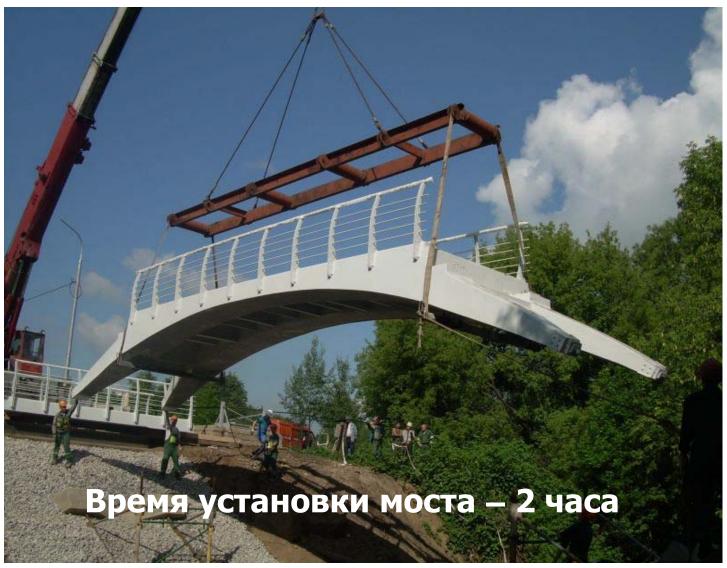
ИЗГОТОВЛЕНИЕ АРОЧНОГО МОСТА МЕТОДОМ ВАКУУМНОЙ ИНФУЗИИ





УСТАНОВКА МОСТА В ПАРКЕ 50-**ЛЕТИЯ ОКТЯБРЯ**





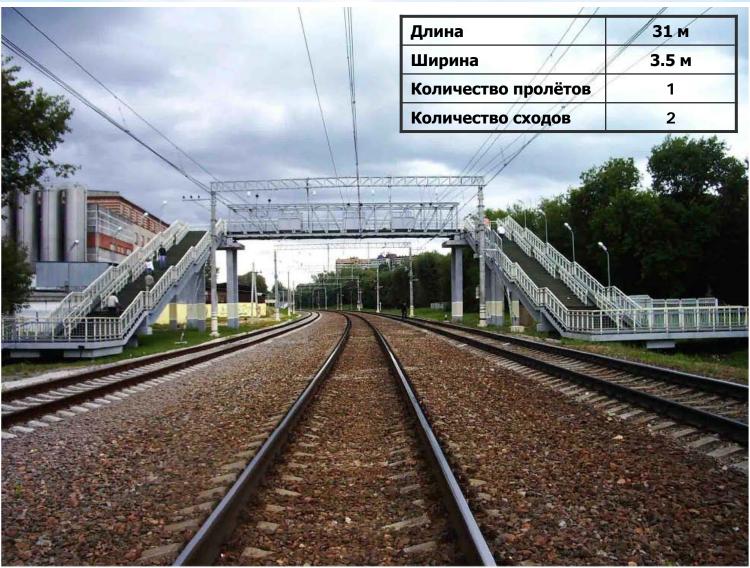
МОСТ У ОСТАНОВОЧНОГО ПУНКТА 586 КМ Ю.В.Ж.Д. (2008 Г.)



Масса пролётного строения	14.4 тонны
Масса навеса	3.4 тонны
Длина	42 M
Ширина	3.2 м
Колво пролётов	3

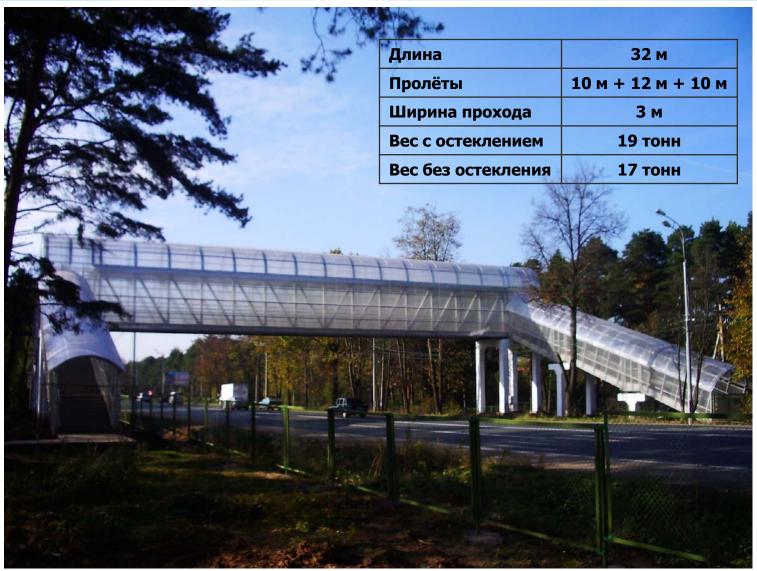
МОСТ НА УЧАСТКЕ МОСКВА-КУСКОВО (2009 Г.)





МОСТ ЧЕРЕЗ АВТОМОБИЛЬНУЮ ДОРОГУ В Г.ОДИНЦОВО (2010 Г.)





ПРОЕКТ ПЕШЕХОДНОГО МОСТА 2011 Г.

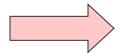




Композиционные материалы в конструкциях мостов



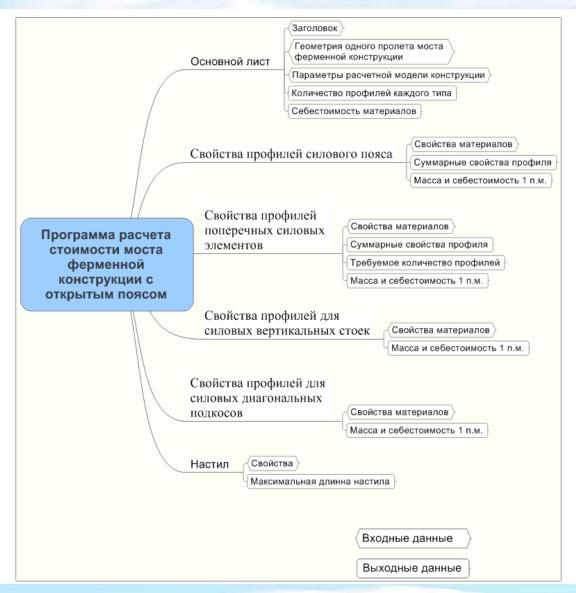
- Применение нанотехнологий при создании мостовых конструкций из композиционных материалов
- Эффективность применения нанотехнологий при создании мостовых конструкций из композиционных материалов
- Опыт создания мостовых конструкций из наноструктурированных композиционных материалов



- Расчёт эффективности применения углепластика в мостовых конструкциях
- Перспективы применения композиционных материалов в автодорожных мостах

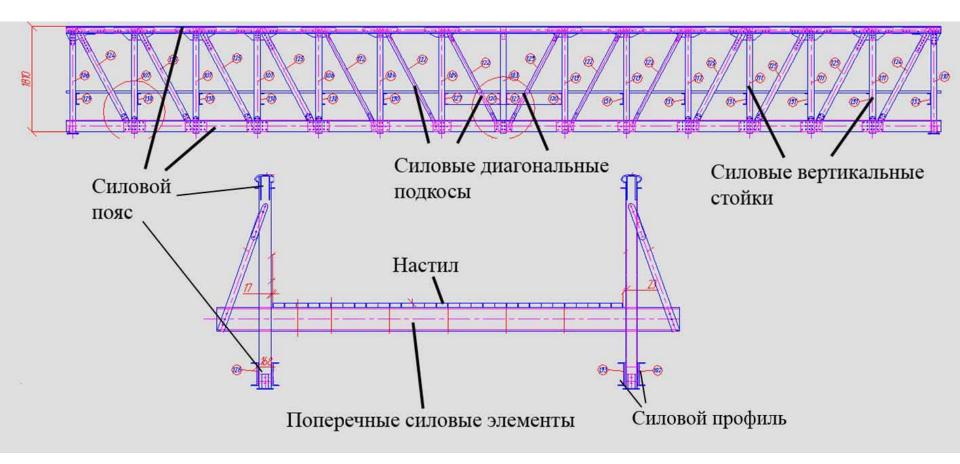
АРХИТЕКТУРА ПРОГРАММЫ ПО ОЦЕНКЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ





ФЕРМЕННАЯ МОСТОВАЯ КОНСТРУКЦИЯ





ФЕРМЕННЫЕ МОСТОВЫЕ КОНСТРУКЦИИ





ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ УГЛЕРОДНОГО ВОЛОКНА



ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

ХАРАКТЕРИСТИКА	Стекловолокно	УК (320)	УК-П	PANEX 35
Модуль упругости волокна, ГПА	71	113	131	155
Стоимость волокна, руб./кг	45	1296	1003	560

- Силовой пояс изготовлен из швеллера 400x120x18 мм
- Поперечные силовые элементы изготовлены из швеллеров 388x120x12/10 мм
- Стойки и откосы изготовлены из половины швеллера 120x60x10 мм

ПРИМЕНЕНИЕ УГЛЕВОЛОКНА ВМЕСТО СТЕКЛО-ВОЛОКНА В ШВЕЛЛЕРЕ СИЛОВОГО ПОЯСА ФЕРМЫ

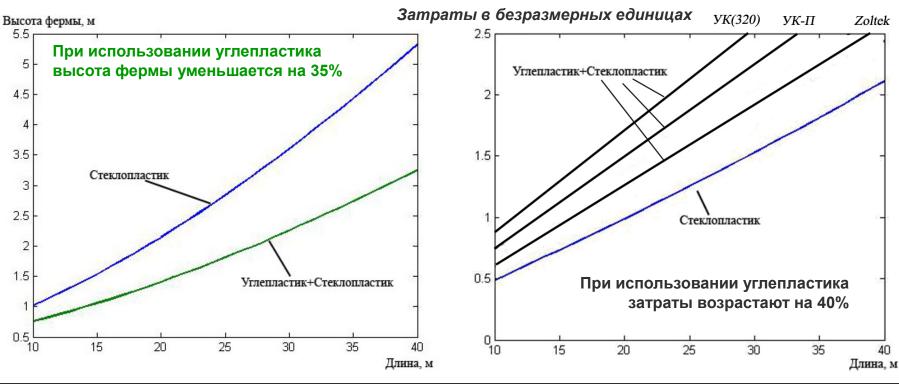




Зависимость высоты фермы от

длины моста

Зависимость затрат на материалы от длины моста



Точка равной стоимости моста из УВ и СВ наступает при стоимости углеродного волокна:

Тип волокна	УК-П	УК(320)	Panex 35
Стоимость, руб./кг	125	115	130
Коэфф. эффективности	8	13	4

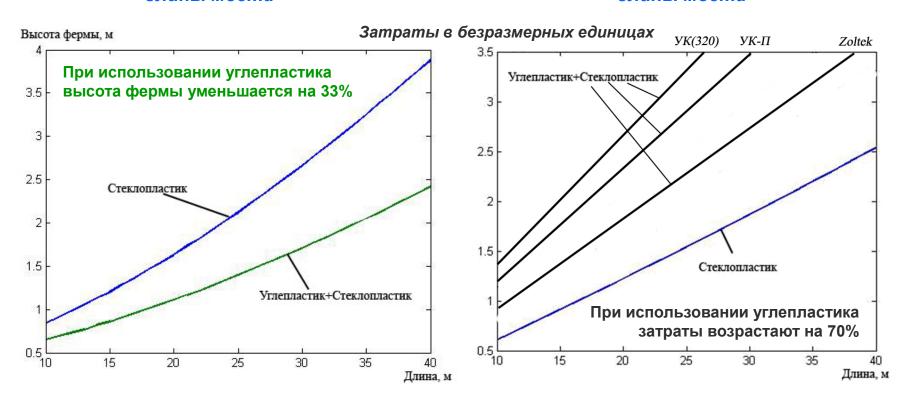
ПРИМЕНЕНИЕ УГЛЕВОЛОКНА ВМЕСТО СТЕКЛО-ВОЛОКНА В ШВЕЛЛЕРЕ СИЛОВОГО ПОЯСА ФЕРМЫ



два швеллера в силовом поясе

Зависимость высоты фермы от длины моста

Зависимость затрат на материалы от длины моста



ПРИМЕР ЭФФЕКТИВНОГО ПРИМЕНЕНИЯ УГЛЕРОДНОГО ВОЛОКНА ВМЕСТО СТЕКЛОВОЛОКНА ДЛЯ УМЕНЬШЕНИЯ ВЫСОТЫ ФЕРМЫ www.ap

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

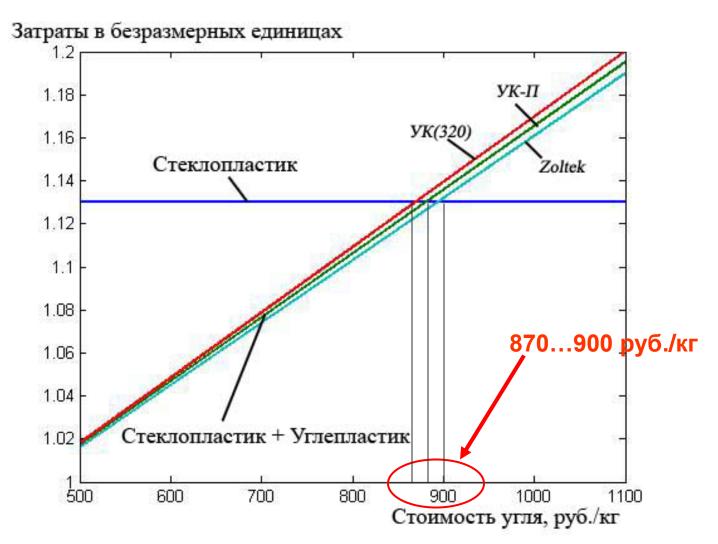
Длина пролёта	20 м	
Ширина моста	2.5 м	
Максимальная высота фермы	1.5 м	
Швеллер силового пояса фермы	400 х 120 х 18 мм	

РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЁТА

Материал	Стеклопластик	УК(320)	УК-П	Panex35
Силовой пояс	2 швеллера	1 швеллер		
Масса моста	4.3 т	≈ 2.6 т		

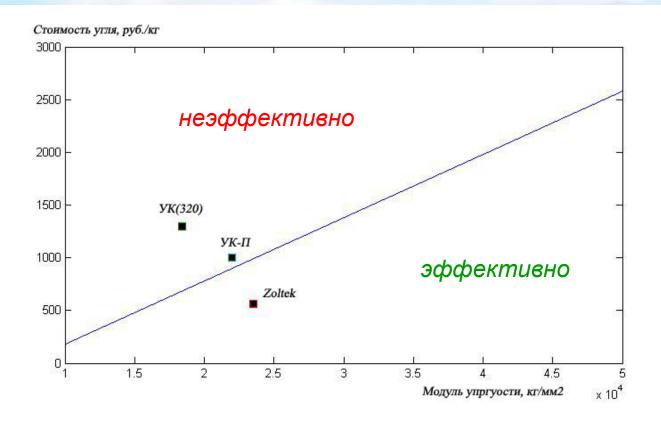
ОБЛАСТЬ ЭФФЕКТИВНОГО ПРИМЕНЕНИЯ УГЛЕВОЛОКНА В МОСТОВОЙ КОНСТРУКЦИИ С ВЫСОТОЙ ФЕРМЫ 1.5 М





ДОПУСТИМЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ СТОИМОСТИ ВОЛОКНА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ МОДУЛЯ УПРУГОСТИ





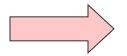
Для эффективного использования высокомодульного углепластика его стоимость не должна расти быстрее линейного закона

$$P_{yz} = \frac{6}{100} \left(E_{yz} - E_{cm} \right)$$

Композиционные материалы в конструкциях мостов



- Применение нанотехнологий при создании мостовых конструкций из композиционных материалов
- Эффективность применения нанотехнологий при создании мостовых конструкций из композиционных материалов
- Опыт создания мостовых конструкций из наноструктурированных композиционных материалов
- Расчёт эффективности применения углепластика в мостовых конструкциях



• Перспективы применения композиционных материалов в автодорожных мостах

АВТОМОБИЛЬНЫЕ ЭСТАКАДЫ ВТОРОГО УРОВНЯ НАД ЖЕЛЕЗНЫМИ ДОРОГАМИ



- Использование пространства, отчуждённого под железную дорогу
- Возведение дороги второго уровня без остановки движения по основной дороге

	Углестекло- пластик	Железо- бетон
Вес м ² , кг	250	2500
Площадь опор	в 5 раз меньше	
Периодичность ремонта	10 лет	5 лет
Срок службы	75 лет	20 лет



АВТОМОБИЛЬНЫЕ ЭСТАКАДЫ ВТОРОГО УРОВНЯ НАД ЖЕЛЕЗНЫМИ ДОРОГАМИ





ПРОЕКТ АВТОМОБИЛЬНОГО МОСТА ЧЕРЕЗ Р.ВОЛГУ В Г.ДУБНЕ

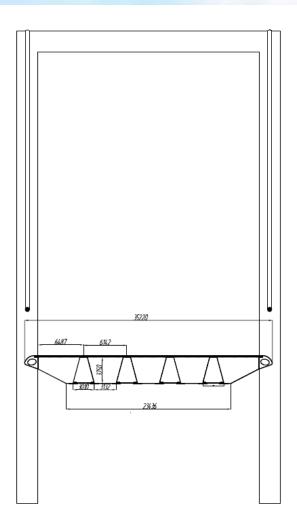




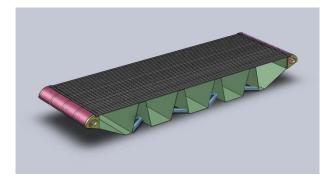
КОНСТРУКЦИИ ДЛЯ АВТОДОРОЖНЫХ МОСТОВ, _

ИЗГОТАВЛИВАЕМЫЕ МЕТОДАМИ ВАКУУМНОЙ ИНФУЗИИ И ПУЛТРУЗИИ





Несущая часть



Настил



Применяемый крепеж : Сталь А2, резьба М16

ВЕСОВЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КОМПОЗИТНЫХ ПРОЛЁТНЫХ СТРОЕНИЙ

	MACCA		
	Общая	Стеклопластик/ стекловолокно	Углепластик/ углеволокно
Пролет 90м	556 тонн	468 / 328 тонн	88 / 62 тонны
Пролет 140м	863 тонны	727 / 509 тонн	136 / 95 тонн

мобильные эстакады



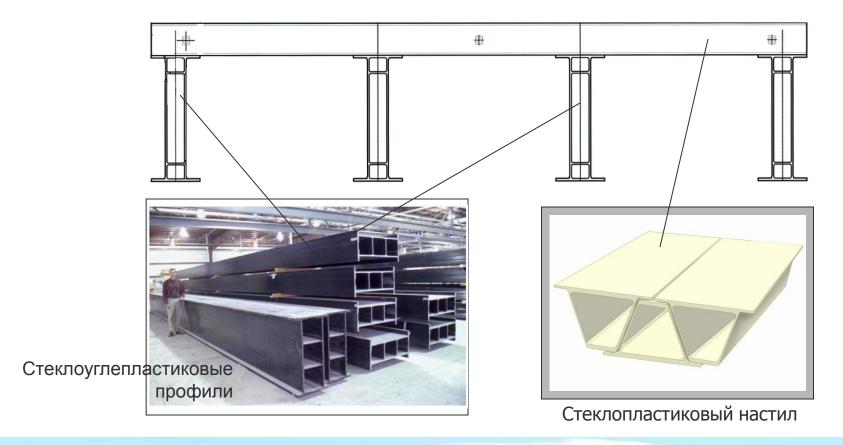


КОНСТРУКТИВНАЯ СХЕМА АВТОМОБИЛЬНОЙ ЭСТАКАДЫ «АПАТЭК»



Масса конструкции	150200 кг/м²
Расчётные нагрузки*	A11, HK80

Конструкция спроектирована в соответствии со СНиП 2.05.03-84 «Мосты и трубы»



ПРОДЛЕНИЕ СРОКА СЛУЖБЫ АВТОДОРОЖНЫХ МОСТОВ







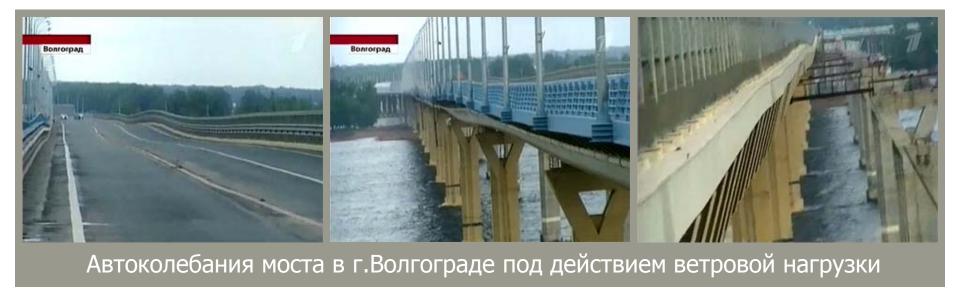


	Железобетон	Композит
Вес 1 м ² настила	1000 кг	120 кг
Периодичность ремонта	5 лет	10 лет
Срок службы	3-5 лет	70 лет

- Ремонт и замена автодорожных покрытий без остановки движения
- Снижение затрат на монтаж
- Минимизация затрат на дальнейшую эксплуатацию

АЭРОДИНАМИЧЕСКИЕ ЭКРАНЫ ДЛЯ ЗАЩИТЫПРОЛЁТНЫХ СТРОЕНИЙ ОТ АВТОКОЛЕБАНИЙ





ПО ЗАКЛЮЧЕНИЮ ЭКСПЕРТОВ ФГУП «ЦАГИ»:

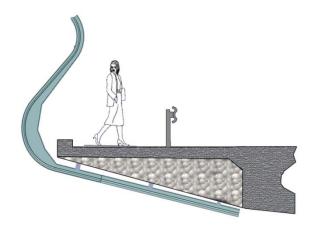
- •Причиной резонансных колебаний пролётных строений автодорожного моста в г.Волгограде является аэродинамика
- •Для защиты моста от повторного возникновения колебаний необходимо внести изменения в аэродинамическую схему мостовой конструкции

АЭРОДИНАМИЧЕСКИЕ ЭКРАНЫ ДЛЯ ЗАЩИТЫ ПРОЛЁТНЫХ СТРОЕНИЙ ОТ АВТОКОЛЕБАНИЙ





Предложение НПП «АпАТэК» по созданию композитных аэродинамических экранов для обеспечения ламинарного обтекания пролётных строений моста



•Высота экрана: 3 м

•Macca экрана: **140** кг*

•Технология: вакуумная инфузия

•Коррозионная стойкость

•Отсутствие затрат на обслуживание

*Масса металлического аналога: 560 кг