

ОГЛАВЛЕНИЕ

<i>В. Глухих, А. Акопян.</i> Предотвращение продольного растрескивания бревен в деревянном домостроении.....	2
<i>Ю. Котиков.</i> Расчет энергоэффективности грузовых перевозок железнодорожного транспорта по критерию L6T-4 Бартини.....	10
<i>М. Керимов, Р. Саффиулин, А. Афанасьев.</i> Методология совершенствования контрольных функций за движением дорожных машин при использовании систем автоматической фиксации административных правонарушений.....	15
<i>Е. Куракина, С. Евтюков.</i> Совершенствование системы учета параметров при строительстве автомобильных дорог	24
<i>О. Третькова.</i> Расчет касательных напряжений морозного пучения на основе физических, механических и деформационных свойств мерзлого грунта.....	34
<i>М. Виленский, К. Веретенникова.</i> Приаэропортовые территории – задачи комплексного освоения (на примере аэропорта Пулково).....	46
<i>А. Юдина, Е. Кобелев.</i> Технологические особенности бестраншейного ремонта наружных инженерных сетей.....	57

ПРЕДОТВРАЩЕНИЕ ПРОДОЛЬНОГО РАСТРЕСКИВАНИЯ БРЕВЕН В ДЕРЕВЯННОМ ДОМОСТРОЕНИИ

Владимир Глухих¹, Анаит Акопян²

^{1,2} Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, Россия, 190005, г. Санкт-Петербург, 2-ая Красноармейская ул., д.4

VNGlukhikh@mail.ru¹

Аннотация

Статья посвящена наиболее распространенному дефекту оцилиндрованных бревен в деревянном домостроении – их продольному растрескиванию в процессе дальнейшей эксплуатации зданий и сооружений. Предлагается способ нанесения продольных пропилов на поверхность бревен при их оцилиндровке, что практически полностью исключает появление трещин на лицевых поверхностях. Пропилы наносят на наружной поверхности бревен с противоположной стороны от одновременно изготавливаемого технологического желоба.

По результатам теоретических и экспериментальных исследований было установлено, что пропил является главным фактором, исключаящим появление продольного растрескивания оцилиндрованных бревен. При этом с учетом изготовления технологического желоба оптимальная глубина пропила не должна быть более 35% от размера радиуса сечения бревна.

Отсутствие видимых продольных макротрещин на лицевых поверхностях бревен улучшит внешний вид строения и продлит срок его службы. Макротрещины появляются на дне технологического желоба и на дне пропила, которые служат концентраторами напряжений. Такие напряжения, возникающие из-за градиента гигроскопической влажности по радиусу сечения бревна и из-за анизотропии усушки в местах с концентраторами напряжений, могут превысить предельные значения при растяжении в тангенциальном направлении, из-за чего и будут образовываться макротрещины в зонах с концентраторами напряжений.

По предварительным оценкам дополнительные энергозатраты на изготовление продольного пропила составят 1-2%.

Ключевые слова

Деревянное домостроение, технологический желоб, трещинообразование, растрескивание бревен.

Введение

Индустриальное производство деревянных домов является одним из наиболее перспективных направлений развития отечественного жилищного строительства. Мировые тенденции и многолетний зарубежный опыт в сфере малоэтажного домостроения подтверждают высокую эффективность заводского изготовления домов и их конкурентоспособность по таким критериям, как комфорт и дизайн, индивидуальность и конструкционная простота, экологическая чистота и технологичность.

Однако, кризис мировой экономики, проявившийся, в том числе и в сокращении рынка вновь вводимого жилья, существенно отразился на объемах производства деревообрабатывающих предприятий отрасли. Развитие деревянного домостроения – основной путь увеличения внутреннего потребления древесных продуктов в нашей отрасли.

При анализе растрескивания бревен в срубах обращает на себя внимание тот факт, что в большинстве случаев макротрещина образуется на дне технологического желоба (рис.1). Это макротрещина, которая выходит на торец бревна. Технологический желоб является концентратором напряжений, где опасность растрескивания несколько меньше, чем в пропилах, однако она существует. Любой надрез, углубление на поверхности бревна, пропил являются очагом образования повышенных растягивающих напряжений, что приводит к нарушению целостности материала – появлению продольных глубоких трещин.

Таким образом, выбирая место нанесения пропила, определяют место появления макротрещины – она появляется на дне пропила.

Нанесение продольного пропила на нелицевой поверхности бревна приводит к появлению второго концентратора напряжений, который в совокупности с технологическим желобом должен обеспечить уменьшение растягивающих напряжений на поверхности бревна при его высыхании.

Любой капиллярно-пористый материал, в том числе и древесина, начинает высыхать с поверхности. При снижении влажности поверхностных зон ниже предела гигроскопичности происходит сокращение размеров – появляется усушка древесины. Однако усушке поверхностного слоя бревна препятствует значительная внутренняя часть его, где влажность древесины выше предела гигроскопичности и усушка отсутствует. В результате этого поверхностный слой бревна испытывает растяжение и, этим самым, сжимает внутреннюю часть. Материал по всему сечению испытывает радиальное сжатие. В окружном направлении на периферии действуют растягивающие напряжения, в центральной зоне – сжимающие. В таком случае, самая высокая опасность трещинообразования существует в начальном периоде высыхания, когда снижается гигроскопическая влажность только в поверхностных слоях. При достижении растягивающими напряжениями предельных значений образуется на поверхности бревна сетка микротрещин, которые при своем развитии увеличиваются, объединяются друг с другом, образуя более крупные трещины, которые в конечном счете при объединении с другими такими же трещинами образуют макротрещину, которая приобретает превалирующее развитие и глубина ее достигает сердцевинной трубки. Можно предположить, что при образовании такой трещины в равномерно сохнувшем бревне внутренние напряжения усушки исчезнут полностью.

Если трещина имеет небольшую глубину, тогда уменьшение напряжений будет лишь частичным. Дальнейшее высушивание приведет к новому нарастанию напряжений и дальнейшему развитию трещины. Процесс развития трещины не заканчивается с выравниванием гигроскопической влажности по сечению бревна.

Для деревянного дома помимо удовлетворения других требований, внешний вид дома должен отвечать современным требованиям. Оцилиндровка бревен позволяет получить строительный материал правильной геометрической формы. Но со временем из-за появляющихся внутренних напряжений усушки внешний вид дома ухудшается из-за появления глубоких трещин. Для разработки мероприятий по уменьшению опасности появления трещин необходимо исследовать изменение величины внутренних напряжений в бревне при высыхании.



Рисунок 1. Трещина на поверхности технологического желоба

Методика исследования

В этом направлении известна работа В. А. Шевченко и М. Н. Феллера (Шевченко, Феллер, 1964). Авторы рассматривали случай распределения гигроскопической влажности в сечении в форме круга по закону параболоида второго порядка.

Для решения задачи применительно к начальной стадии сушки нами было принято распределение влажности по закону параболоида шестой степени (рисунок 2).

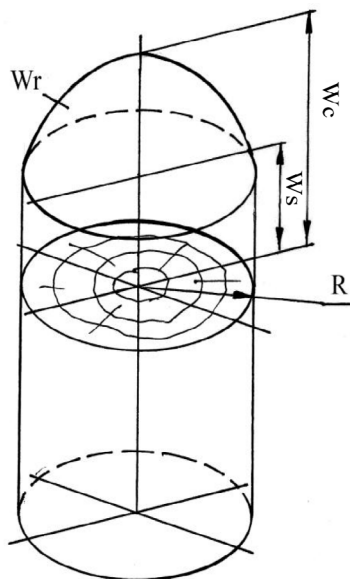


Рисунок 2. Распределение гигроскопической влажности по сечению бревна

Функция гигроскопической влажности будет иметь вид:

$$W = W_c - \frac{W_c - W_s}{R^6} \cdot r^6 \quad (1)$$

где W_c , W_s – влажность древесины в центре и на поверхности бревна, %.

Внутренние напряжения в древесине обусловлены перепадом гигроскопической влажности, анизотропией строения и свойств по различным структурным направлениям.

Принимая в предположении древесину упругим цилиндрическим телом, у которого годичные слои представляют собой концентрические окружности, а постоянные упругости не зависят от влажности древесины, можно считать ее ортотропным цилиндрически анизотропным телом, у которого ось анизотропии совпадает с продольной геометрической осью и ей перпендикулярны радиальная и тангенциальная оси.

Решая плоскую задачу методами теории упругости, используем дифференциальное уравнение для ортотропного цилиндрически анизотропного тела (Глухих, Акопян, 2010):

$$\frac{r^4 \partial^4 F}{E_t \partial r^4} + \frac{r^3 \partial^3 F}{E_t \partial r^3} - \frac{r^2 \partial^2 F}{E_r \partial r^2} + \frac{r \partial F}{E_r \partial r} = \frac{r^8}{100} (42K_t - 6K_r) \frac{W_c - W_s}{R^6} \quad (2)$$

где E_t , E_r , – постоянные упругости древесины в тангенциальном и радиальном направлениях;

K_t , K_r – коэффициенты усушки древесины в тангенциальном и радиальном направлениях;

W – функция распределения гигроскопической влажности по сечению бревна.

Общее решение дифференциального уравнения (2):

$$F = F_0 + F_1 + C_1 + C_2 r^2 + C_3 r^{1+\alpha} + C_4 r^{1-\alpha} + \frac{3E_t(W_c - W_s)7K_t - K_r}{2352 - 48\alpha^2 \cdot 50R^6} \cdot r^8 \quad (3)$$

Окружное напряжение можно вычислить после нахождения постоянных интегрирования и соответствующих преобразований по формуле:

$$\sigma_t = \frac{(K_t - K_r)(W_c - W_s)}{100(1 - \alpha^2)} E_t (1 - \alpha) \frac{R^{1-\alpha}}{r^{1-\alpha}} + \frac{7K_t - K_r}{49 - \alpha^2} \frac{W_c - W_s}{100} E_t \left(7 \frac{r^6}{R^6} - \alpha \frac{R^{1-\alpha}}{r^{1-\alpha}} \right) \quad (4)$$

Из уравнения (4) видно, что в точках на контуре сечения бревна независимо от его диаметра окружное напряжение имеет одно и то же значение. Ниже в таблице 1 и на рисунке 4 приведены результаты расчета напряжений по полученным формулам для следующих данных:

$$K_r = 0,2\%; K_m = 0,3\%; E_r = 500 \text{ МПа}; W_h = W_c = 30\%; W_c - W_s = 1\%; \alpha^2 = 0,5; R = 5 \text{ см}.$$

Таблица 1. Изменение напряжений по радиусу круглого диска при сушке.

	r, см						
Напряжение	0,1	0,2	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0
σ_r , кг/см ²	-137,94	-103,55	-45,82	-28,16	-19,0	-11,27	0
σ_t , кг/см ²	-83,03	-58,56	-17,74	-5	4,095	22,84	76,25

При перепаде гигроскопической влажности в 1% в начальный момент сушки окружные напряжения достигают примерно половины предела прочности на растяжение древесины в тангенциальном направлении.

Нанесение пропила на нелицевые поверхности не испортит внешний вид бревен и в совокупности с технологическим желобом позволит уменьшить величину растягивающих напряжений на поверхности. Это позволит снизить опасность трещинообразования на лицевых поверхностях. Микротрещины будут обязательно появляться, но господствующая трещина (ее функции выполняет нанесенный пропил) уже существует. Она обеспечит уменьшение растягивающих напряжений на поверхности и предотвратит этим самым появление еще одной макротрещины.

Таким образом, нанесение продольного пропила заранее предопределяет местоположение господствующей макротрещины, избегая заранее появления ее на лицевой поверхности бревна. Образующаяся на дне пропила макротрещина, распространяется вглубь бревна. Но это не ухудшит внешний вид строения.

Теоретически вопрос трещинообразования в бревнах не исследован, поэтому глубина пропилов, их количество и ширина в технологии домостроения назначаются не всегда и без обоснований. На первом этапе задачи нами рассмотрено равномерное высушивание круглого сортамента при отсутствии градиента гигроскопической влажности. В этом случае причиной появления внутренних напряжений является анизотропия строения и свойств древесины.

В круглом сечении (без пропилов) деформации усушки в радиальном и тангенциальном направлениях взаимосвязаны и реализуются не полностью. При нанесении пропила от контура до центра сечения бревна и радиальная, и тангенциальная усушка реализуются свободно и полностью и напряжения в наружных слоях резко сокращаются.

Очевидно, что нет необходимости наносить продольные пропилы глубиной до сердцевинной трубки. Во-первых, может нарушиться крутильная и изгибная жесткость бревна. Во-вторых, возрастает расход энергии на выполнение пропила, повысится себестоимость деревянного домостроения. В-третьих, глубину пропила необходимо назначать из условия снижения окружных напряжений на лицевой поверхности бревна при его расположении в стене дома до безопасных величин, гарантирующих отсутствие появления макротрещин в процессе эксплуатации.

Известны два случая решения задач о трещинообразовании. Первый – это подбор функций, имеющих разрывность в местах трещин. Второй – это подбор функций, позволяющих удовлетворить условия на берегах трещины. Функции должны зависеть от двух координат: радиальной и угловой. Если существует возможность учесть условия на берегах трещины, тогда математически проще решать вторую задачу. Первая задача значительно сложнее, поэтому при решении нами был выбран второй вариант. Основой решения послужило, как и в предыдущем случае, дифференциальное уравнение четвертого порядка в частных производных в полярных координатах (2). При отсутствии осевой симметрии в задаче с продольным пропилом функция напряжений $F(r, \theta)$ содержит компоненты с тригонометрическими функциями косинуса угла θ .

Численное решение задачи приводит к получению системы 20 уравнений с 20 неизвестными, решенной с использованием EXCEL. Коэффициенты при неизвестных и свободные члены уравнений найдены для тех – же данных, что и в первой части задачи для цельного круга без прорези. Решение уравнения для окружного напряжения позволяет получить значения этого напряжения в точках на контуре круга в зависимости от глубины пропила.

Для каждого значения глубины пропила были составлены 20 уравнений и решены на ЭВМ (значения глубины: 1 см, 2 см, 3 см, 5 см, 7 см, 9 см, 9,9 см, 10 см). Было решено на ЭВМ с использованием программы EXCEL 120 уравнений.

Результаты исследования

Таблица 2. Значения окружного напряжения в точках на контуре при $\alpha = 180^\circ$ в зависимости от глубины пропила.

Напряжение, МПа	Глубина пропила, см						
	0	1	3	5	7	9	10
σ_t	5,935	5,642	4,88	3,86	2,47	0,93	0,021

Результаты вычислений проиллюстрированы на рисунке 3 и 4.

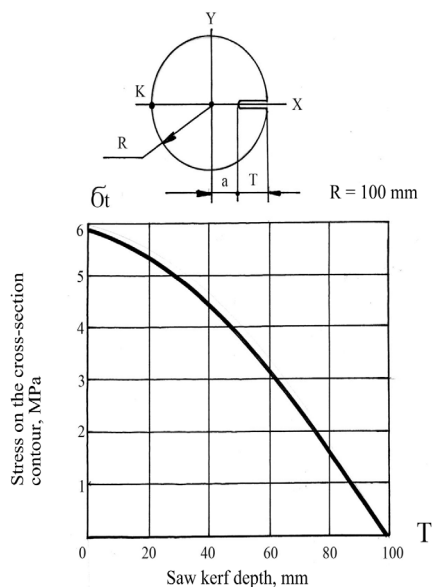


Рисунок 3. Уменьшение окружного напряжения в точке «К» с увеличением глубины пропила

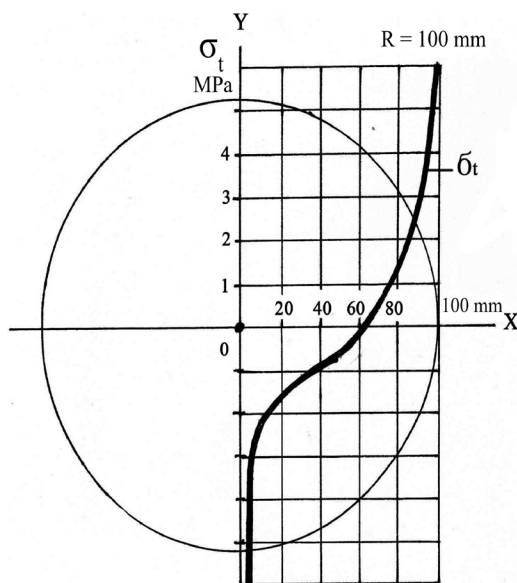


Рисунок 4. Изменение окружного напряжения по радиусу бревна диаметром сечения $d=20$ см без пропила

На рисунке 5 приведено изменение окружного напряжения σ_t в точках на контуре сечения бревна с изменением угла θ .

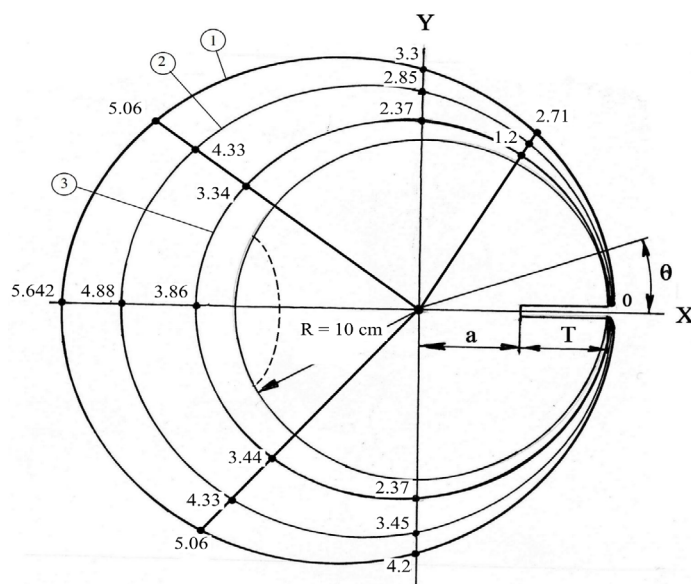


Рисунок 5. Изменение окружного напряжения в зависимости от угла θ при глубине 1– $T=1$ см; 2– $T=3$ см; 3– $T=5$ см

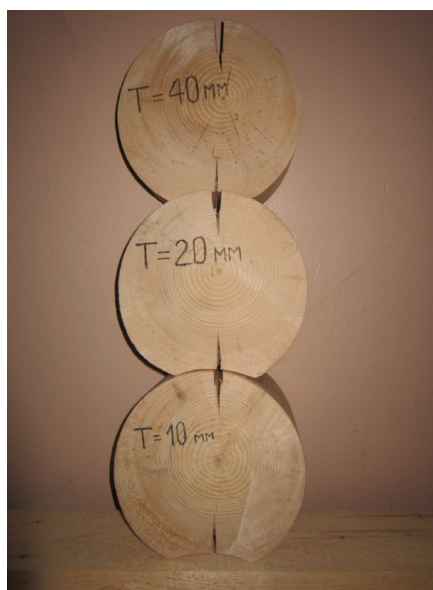


Рисунок 6. Положение трещины определяется местом нахождения концентратора напряжений

При увеличении глубины пропила максимальные напряжения в растянутой и сжатой зонах сечения уменьшаются и в идеальном случае, когда сечение бревна – круг, исчезают полностью. Это подтверждает гипотезу о том, что если все годовичные слои в сечении сортимента перерезаны (т. е. нет целых годовичных слоев), то при равномерной сушке напряжения не появляются.

При увеличении глубины продольного пропила напряжение на лицевой поверхности бревна уменьшается. При глубине пропила, равной четверти диаметра бревна напряжение уменьшается в 2,5 раза с 5,935 до 2,37 МПа и этим самым уменьшается опасность растрескивания, поскольку это напряжение меньше предела прочности древесины на растяжение в тангенциальном направлении (Сергеевичев, 2010).

Таблица 3. Результаты экспериментальных исследований трещинообразования в бревнах с продольным пропилом.

Ширина пропила 2,4 мм	Глубина пропила, мм	Количество образцов, шт	Размеры образцов		Размеры макротрещины, мм		
			Диаметр диска, мм	Толщина, мм	ширина	глубина	местоположение
2,4	10	5	200	50	6,2	88	пропил
					6,6	71	пропил
					7,2	73	пропил
					6,1	64	пропил
					7,0	75	пропил
	20	5	200	50	5,9	63	пропил
					5,3	72	пропил
					4,7	49	пропил
					5,5	57	пропил
					5,7	70	пропил
	40	5	200	50	3,8	60	пропил
					4,3	54	пропил
4,0					60	пропил	
4,3					58	пропил	
4,5					56	пропил	
70	5	200	50	2,4	30	пропил	
				2,1	30	пропил	
				2,6	30	пропил	
				2,1	30	пропил	
				2,1	30	пропил	
100	5	200	50	-	-	пропил	
				-	-	пропил	
				-	-	пропил	
				-	-	пропил	
				-	-	пропил	
10	5	300	50	8,3	94	пропил	
				7,9	110	пропил	
				7,7	102	пропил	
				8,7	93	пропил	
				8,2	115	пропил	
20	5	300	50	7,0	92	пропил	
				6,4	87	пропил	
				6,1	101	пропил	
				7,1	84	пропил	
				6,8	91	пропил	
40	4	300	50	4,8	74	пропил	
				5,3	67	пропил	
				4,7	72	пропил	
				5,2	71	пропил	
70	5	300	50	3,6	80	пропил	
				3,9	71	пропил	
				3,1	80	пропил	
				4,0	80	пропил	
				2,9	75	пропил	
150	5	300	50	-	-	пропил	
				-	-	пропил	
				-	-	пропил	
				-	-	пропил	
				-	-	пропил	

При появлении трещины напряжение резко снижается. При дальнейшем высыхании бревна оно вновь начинает расти, при достижении предела прочности при растяжении в тангенциальном направлении способствуют дальнейшему развитию трещины. Это циклически повторяется до тех пор, пока влажность древесины не достигнет равновесной для условий, в которых бревно находится.

При наличии одновременно технологического желоба и продольного пропила появление видимых трещин на лицевой поверхности бревна не замечено (рисунок 6).

Выводы

Технологически в производственных условиях наносить продольный пропил можно в потоке с изготовлением желоба.

Оптимальная глубина пропила не должна превышать 35% от радиуса сечения бревна.

Литература

Jlilin, A. (1952). *Über die mechanische Schaftformtheorie der Baume*. Technische Hochschule in Finland Wissenschaftliche Forschungen, 6, с.51

Глухих, В.Н. (2007). *Анизотропия древесины как фактор для повышения качества сушки пиломатериалов*. СПб: СПбГУ, с. 160.

Глухих, В.Н., Акопян, А.Л. (2010а). К вопросу об уменьшении внутренних напряжений усушки в круглых лесоматериалах нанесением продольных пропилов. В: *сборнике материалов Международной научно-практической конференции молодых ученых и специалистов «Современные проблемы и перспективы рационального лесопользования в условиях рынка»*. СПб: СПбГЛТА.

Глухих, В.Н., Акопян, А.Л. (2010б). Напряжения усушки в круглых лесоматериалах с продольным пропилом. *Известия СПбЛТА*, 193, с.288-233.

Кузнецов, А.И. (1950). *Внутренние напряжения в древесине*. М: ГЛБИ, с.60.

Лехницкий, С.Г. (1956). *Анизотропные пластинки*. М: Физматгиз, с.463.

Сергеевичев, А.В. (2010). *Повышение эффективности оцилиндровки бревен путем совершенствования механизма резания*. Дис. на соискание к.т.н. СПб: СПбГЛТА, с.160.

Уголев, Б.Н. (1971). *Деформативность древесины и напряжения при сушке*. М: Лесная Промышленность, с.174.

Уголев, Б.Н. (1986). *Древесиноведение с основами лесного товароведения*. М: Лесная Промышленность, с.367.

Черных, А.Г. (2008). *Деревянное домостроение*. СПб: СПбГЛТА, т.1,2 с.343.

Шевченко, В.А., Феллер, М.Н (1964). *Расчет формоизменяемости древесины*. Киев.

Шевченко, В.А., Феллер, М.Н. (1962). Рівняння внутрішніх напружень у деревини при її висиханні. *Вісник АБі А УРСР*, 3.

РАСЧЕТ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ГРУЗОВЫХ ПЕРЕВОЗОК ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА ПО КРИТЕРИЮ L6T-4 БАРТИНИ

Юрий Котиков

Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, Россия, 190005, г. Санкт-Петербург, 2-ая Красноармейская ул., д.4

cotikov@mail.com

Аннотация

Отмечается необходимость привлечения квадрата скорости как основного фактора формирования оценки энергоёмкости перемещения объекта и сопротивления среды. Авторский подход к расчету энергоэффективности железнодорожного транспорта основан на использовании критерия L6T-4 Бартини и сущности *Transfer* с размерностью *Tran*. Коэффициент энергоэффективности перемещения груза представлен в виде отношения неизбежной диссипации энергии движения груза к общим затратам железнодорожного комплекса на энергетическое обеспечение перевозки.

В качестве примера выполнен расчет энергоэффективности грузовых перевозок железнодорожного комплекса *Bothnia Line*. Оценка энергетической эффективности перевозки железнодорожным комплексом со скоростью 120 км/час, рассчитанной с использованием *Transfer*, равна $\eta = 15.8$ %. Это позволяет оценить технологический уклад с действующим железнодорожным транспортом – как далёкий от совершенства.

Ключевые слова

Железнодорожный транспорт, квадрат скорости, *Transfer*, *Tran*, эффективность использования энергии, жизненный цикл.

Введение

Авторскими работами (Kotikov, 2001, 2005a, 2005b, 2006, 2006, 2017) преследовалась цель развития нового методологического подхода в оценке энергоэффективности транспорта и предоставляемых им транспортных услуг, который учитывал бы квадрат скорости доставки объекта перевозки. Этот подход связан с освоением идей Роберта Бартини по *LT*-систематизации законов физики на базе пары координатных параметров Длина L – Время T (Bartini, 1965, 1974). Суть подхода заключается в формировании отношения перенесённой (transferred) транспортной выработки в точку назначения (с учетом квадрата скорости переноса груза – сервис переноса S), к удельным вложенным энергозатратам транспортного комплекса на этот перенос груза. Сходимость размерностей названных двух величин отношения обеспечивается на уровне сущности *Transfer* с размерностью **L6T-4** (Aleinikov, 2007) *LT*-таблицы Бартини.

Пример исследования, рассмотренный в работе (Kotikov, 2017) на примере доставки груза одиночным автомобилем КамАЗ-5320 со скоростью 60 км/час, показал невысокую энергоэффективность (с точки зрения утилизации полной заимствованной энергии солнца) такой перевозки груза – не выше 11%.

В настоящей статье предпринимается попытка оценить энергоэффективность доставки грузов железнодорожным транспортом. Методическим усилением, относительно статьи (Kotikov, 2017), является активное использование концепции Оценки жизненного цикла транспортного комплекса и проведение расчетного исследования с охватом энергозатрат основных функциональных составляющих элементов комплекса: создание, техническая поддержка, рабочий процесс (ISO 14040-2006 and 14044-2007).

Проблемы и методология

Методологическим полотно для исследования (Kotikov, 2017) является фрагмент *LT*-таблицы Р. Бартини (Bartini, 1965) в интерпретации А. Алейникова (Aleinikov, 2007) – это представлено на рисунке 1.

Верхняя ветвь на рисунке 1 отображает передачу массы груза M_{net} в состав транспортного средства, с формированием массы $M_{gross} = M_{net} + M_{carr}$. Здесь M_{carr} – удельная часть массы транспортного носителя, ассоциированная с массой груза M_{net} . Далее масса M_{gross} , с затратой энергии E_{Σ} , перемещается на расстояние L в точку назначения, формируя реальное значение показателя *Transfer* S_{gross} .

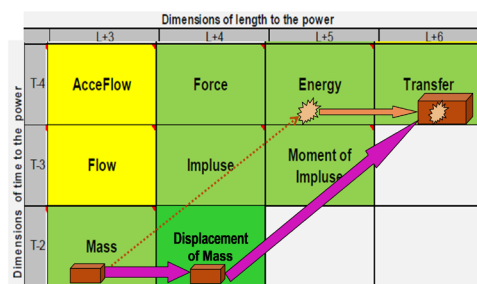


Рисунок 1. Part of Matrix of physical laws as a canvas for analysis

Здесь $E_{\Sigma} = E_{Emb} + E_{Supp} + E_{Input}$, где E_{Emb} , E_{Supp} , и E_{Input} – утилизация удельных частей энергии, соответственно:

- вложенной в транспортное средство и инфраструктуру;
- предназначенной на техническое обслуживание;
- входящей и непосредственно расходуемой на осуществление перевозки.

Все три компонента – в долях, ассоциированных с массой M_{gross} и расстоянием перевозки L .

Пунктирная линия от Mass до Energy означает связь между Спросом (на перенос массы объекта) и Предложением (наличие средств для переноса и инфраструктуры с предварительно вложенной в них энергией, а также энергией на оперативную работу).

Нижняя ветвь на рисунке 1 (Mass – Displacement of Mass – Transfer) представляет процесс формирования идеальной, иллюзорной оценки транспортной услуги S_{net} по абстрактному переносу net-массы груза M_{net} на расстояние L со скоростью V . Собственно говоря, заказчика перевозки интересует реализация именно этих факторов (его не интересует перенос gross-массы M_{gross} , реализуемый затратным транспортным средством в условиях реального транспортного комплекса).

Перенос собственно объекта перевозки абсолютизирован. Этот объект переносится из начальной точки в конечную с условным учетом только лишь энергозатрат на преодоление сил гравитационного поля Земли (пропорциональных именно квадрату скорости переноса). Всё, что связано с энергозатратами на изготовление конструкции транспортного средства (ТС), сооружение путевого конструктива, на преодоление сопротивлений движению ТС, управление движением, техническую эксплуатацию и прочее, - вынесено на «верхнюю ветвь». Этим достигается возможность численной оценки того, как соотносится перенос объекта перевозок реальным видом транспорта в реальных условиях к абсолютизированному перемещению объекта перевозок – предельно эффективному для геоида Земли.

Отношение $\eta = S_{net} / S_{gross}$, очевидно, характеризует уровень совершенства вида транспорта существующего технологического уклада, в масштабах освоения энергии Солнца.

Ниже предпримем попытку расчета показателя энергоэффективности η для перевозок железнодорожным транспортом.

Особенностью расчета удельной вложенной энергии транспортного комплекса авторского метода является приведение энергозатрат на жизненный цикл всех обеспечивающих компонентов комплекса к жизненному циклу транспортного средства. Это, при знании общего пробега транспортного средства в пределах ЖЦ, обеспечивает прямой выход на расчет энергозатрат на реализацию конкретной перевозки.

Пример исследования

Расчет для скоростного железнодорожного транспорта проведем на основе данных по линии *Bothnia Line* на севере Швеции, запущенной в действие в 2010 году (Stripple, Uppenber, 2010; Trafikverket, 2017). Это однопутная высокоскоростная железнодорожная линия, проложенная по холмистому изрезанному побережью от *Hoga Kusten Airport* через *Ornskoldsvik* до *Umea*.

Линия допускает движение со скоростями до 250 км/час. Однако эксплуатационные скорости для грузового движения пока ограничены скоростями на уровне 120 км/час (для этой скорости ниже и проведем расчеты).

Общие характеристики *Bothnia Line*:

- длина магистральной линии – 190 км;
- общая длина 140 мостов – 11 км;
- общая длина 16 туннелей – 25 км;

- максимальная осевая нагрузка – 25 т на скорости 120 км/час;
- основной вид тяги – электрический (95%), 15 kV, 16 2/3 Hz AC;
- подвижной состав – локомотив *RE460 (Loc 2000)* со стандартными вагонами;
- сигнальная система - *European Rail Traffic Management System (ERTMS)*;
- декларативный годовой объем перевозимых грузов - 2 623 665 тонн/год;
- транспортная работа – 506 367 424 т-км/год;
- бюджет строительства – 15 миллиардов.

Гарантийный срок Локомотива *RE460 (Loc 2000)* – 40 лет. Этот срок и войдет в основу оценки Жизненного цикла, которая, в свою очередь, определит показатель энергоэффективности, по аналогии с работой (Kotikov, 2017).

Как видим по общей характеристике, линия *Bothnia Line* – достаточно энергозатратный объект. В работе (Stripple, Uppenberg, 2010) представлен обстоятельный расчет энергозатрат на строительство (E_{Emb}), техническое содержание инфраструктуры (E_{Supp}) и оперативную деятельность (E_{Input}) этой железной дороги. Этими исследователями проведен анализ энергозатрат по цепочке Извлечение и обработка сырья – Транспортировка – Изготовление полуфабрикатов - Транспортировка – Изготовление конструктивных элементов – Транспортировка – Создание компонентов железной дороги *Bothnia Line*. Компонентами анализа жизненного цикла железной дороги явились следующие:

1. насыпь;
2. верхний путь;
3. электроснабжение и система контроля;
4. туннели;
5. мосты;
6. пассажирские станции и грузовые терминалы;
7. движение пассажирских и грузовых поездов;
8. инфраструктура железной дороги;
9. пассажиро- и грузопотоки.

Приведем результаты Оценки жизненного цикла в части энергозатрат (Stripple, Uppenberg, 2010) – рисунок 2. Рисунок отображает общие результаты расчетов за весь жизненный цикл, включая энергозатраты в элементы строительства, технической поддержки и все виды оперативной деятельности.

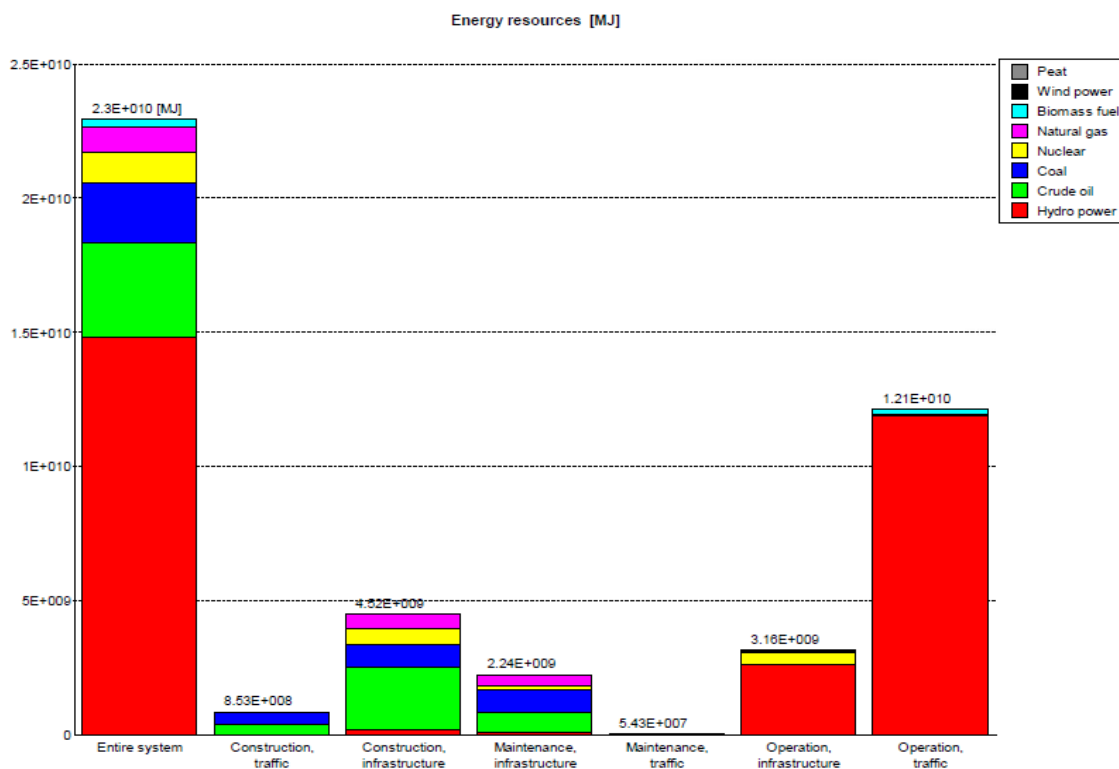


Рисунок 2. Использование первичных энергетических ресурсов для обеспечения жизненного цикла железнодорожной линии *Bothnia Line*

Видим, что вся система на жизненный цикл её функционирования требует затрат энергии $E_{\Sigma LC} = 2,3 \cdot 10^{10}$ MJ, в том числе, например, на транспортные операции перевозки по построенной железной дороге $1,21 \cdot 10^{10}$ MJ (52,6% всех энергозатрат).

Предопределённый годовой объем перевозимых грузов 2 623 665 тонн/год при прогнозируемом числе рейсов в год 7679 train/year дает $2\,623\,665/7679 = 341.7$ тонн/train. Это приводит к общей транспортной работе локомотива за жизненный цикл работы на линии *Bothnia Line* $W_{LC} = 341.7 \cdot 9600000 = 3\,280\,320\,000$ t·km.

Транспортная услуга *Transfer* размером в 1 *Tran* равна полезной работе, затраченной на перемещение груза массой 1 т на расстояние 1 км со среднейрейсовой скоростью движения 1 км/ч. Размерность единицы этой услуги – $t \cdot km^3/c^2$ (Kotikov, 2001, 2017).

Далее, $1\,Tran = 1\,t \cdot (km/c)^2 \cdot km = 1000\,kg \cdot (1/3,6)^2 m^2/c^2 \cdot km = 77,16$ Дж·км. Таким образом, 1 *Tran* можно представить как энергию величиной 77,16 Дж, необходимую для перемещения объекта перевозок массой 1 т в условиях гравитационного поля Земли со скоростью 1 км/час на 1км.

Поезд *Re 460 (Loc 2000)*, перемещая 1 т груза со скоростью 120 км/ч и пробегая 1 км, выполняет объем услуг $S_{net.km} = 1 \times 1 \times (120) = 14400\,Tran = 14400 \cdot 77,16 = 1,111$ MJ/t·km. То есть, «абсолютно чистые» энергозатраты, связанные с услугой по перемещению названного груза 1 т на расстояние 1 км со скоростью (120) км/ч, равны $S_{net.km} = 1.111$ MJ (и они не зависят от вида ТС, а характеризуют уровень рассеиваемой на отрезке 1 км энергии движения массы 1 т в гравитационном поле при скорости доставки 120 км/ч). Тогда общая транспортная услуга железной дороги за жизненный цикл (при условии перемещения грузов со скоростью 120 км/час) будет равна $S_{LC} = 1.111\,MJ/t \cdot km \times 3\,280\,320\,000\,t \cdot km = 3,644 \cdot 10^9$ MJ.

Таким образом, для оказания транспортной услуги – выполнения транспортной работы величиной $3\,280\,320\,000$ t·km с условием перемещения грузов со скоростью 120 км/час (с неотъемлемой диссипацией в среду со стороны каждой тонны груза на километр ее перемещения энергии 1,111 MJ) требуется вложить в железнодорожный комплекс $2,3 \cdot 10^{10}$ MJ энергии.

Значение $\eta = S_{LC}/E_{\Sigma LC} = 3,644 \cdot 10^9\,MJ / 23 \cdot 10^9\,MJ = 0,158 = 15,8\%$ и является показателем энергоэффективности процесса транспортирования со скоростью 120 км/час, осуществляемого железнодорожным комплексом линии *Bothnia Line*.

Заключение

Полученная численная оценка энергоэффективности железнодорожного транспорта $\eta = 15,8\%$ является весьма условной, поскольку выбранный пример носит спорадический характер. Вместе с тем, представленное исследование позволило, на взгляд автора, во-первых, развить методическую основу оценки энергоэффективности объектов транспорта на базе сущности *Transfer* размерности L6T-4, а во-вторых, сопоставить уровни энергоэффективности двух видов транспорта (согласно работам (Kotikov, 2006, 2017) для автотранспорта $\eta = 5 - 11\%$).

По всей видимости, высокой энергоэффективностью будет обладать левитационный и космический транспорт – с их высокими скоростями переноса объектов и низкими сопротивлениями среды движения. Однако, информационная база для соответствующих оценок имеет пока нечеткий характер.

Литература

- Aleinikov, A. (2007). Nine new laws of conservation: future science horizons. In: *Proceedings of the Allied Academies International Conference*, 6(2), pp. 5–10.
- Arvesen, A., Hertwich, E. (2012). Assessing the life cycle environmental impacts of wind power: A review of present knowledge and research needs. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16, pp. 5994–6006. DOI: 10.1016/j.rser.2012.06.023
- Aseev, A.G. (2012). *Glamour and Emptiness of our world*. Available at: http://noocosmology.com/article/glamour_and_emptiness_of_our_world.html (accessed on: 30.06.2017).
- Bartini, R.O. (1965). Some relations between physical constants. *Reports of the Academy of Sciences of the USSR*, 163 (4), pp. 861–864.
- Bartini R.O., Kuznetsov P.G. (1974). Multiplicity in geometries and physics. In: *Proceedings of the seminar "Cybernetics of electric power systems"*, p. 11. Available at: <http://www.metodolog.ru/01380/01380.html> (accessed on: 30.06.2017).
- Chester, M., Horvath, A. (2010). Life-cycle assessment of high-speed rail: the case of California. *Environmental Research Letters*, 5(1), paper ID 014003. DOI:10.1088/1748-9326/5/1/014003
- Jeswani, H., Azapagic, A., Schepelmann, P., Ritthoff, M.(2010). Options for broadening and deepening the LCA approaches. *Journal of Cleaner Production*, 18, pp. 120–127. DOI: 10.1016/j.jclepro.2009.09.023
- Kotikov, Ju.G. (2001). *Osnovy sistemnogo analiza transportnykh sistem [Fundamentals of system analysis for transport systems]*. Saint Petersburg: Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering, p.264. (in Russian).

- Kotikov, Ju.G. (2005a). Analiz energoeffektivnosti transporta s pomoshchiu izmeritelia Tran [Analysis of transport energy effectiveness using the Tran unit]. *Integrated logistics*, 3, pp. 15–20. (in Russian).
- Kotikov, Ju.G. (2005b). Energeticheskaia effektivnost avtotransportnogo kompleksa [Energy effectiveness of the automotive transportation system]. *Bulletin of Transport*, 4, pp. 37–39. (in Russian).
- Kotikov, Ju.G., Lozhkin, V.N. (2006). *Transportnaya energetika [Transport power energy]*. Moscow: Publishing Center "Academia", p.272. (in Russian).
- Kotikov, Ju.G. (2017). Estimation of Transportation Energy Efficiency by Bartini Criterion L6T-4. *Architecture and Engineering*, 2 (2), pp. 15–19. DOI: 10.23968/2500-0055-2017-2-2-15-19
- Kuczynski, B., Davis, C., Rivela, B., Janowicz, K. (2016). Semantic catalogs for life cycle assessment data. *Journal of Cleaner Production*, 137, pp. 1109–1117. DOI: 10.1016/j.jclepro.2016.07.216.
- Merchan, A., Belboom, S., Léonard, A. (2017). *Life Cycle Assessment of freight transport in Belgium*. Available at: <https://orbi.ulg.ac.be/bitstream/2268/213282/1/Merchan%20%282017%29%20Poster%20LCA%20of%20freight%20transport%20in%20Belgium.pdf> (accessed on: 12.09.2017).
- Oak Ridge National Laboratory (2016). *Transportation Energy Data Book*, Edition 35. Available at: http://cta.ornl.gov/data/tedb35/Edition35_Chapter01.pdf (accessed on: 30.06.2017).
- Obraztsova, R.I., Kuznetsov, P.G., Pshenichnikov, S.B. (1997). *Inzhenerno-ekonomicheskii analiza transportnykh sistem [Engineering and economic analysis of transport systems]*. Novosibirsk, p. 156. Available at: http://lib.uni-dubna.ru/search/files/ur_enjekan/~ur_enj-ek-an.htm (accessed on: 30.06.2017). (in Russian).
- Stripple, H., Uppenberg, S. (2010). *Life Cycle Assessment of Railways and Rail Transports*. Available at: <http://www.ivl.se/download/18.343dc99d14e8bb0f58b75d4/1445517456715/B1943.pdf> (accessed on: 30.06.2017).
- Technical Committee ISO/TC 207 (2006a) *ISO 14040:2006: Environmental management — Life cycle assessment — Principles and frame-work*. Available at: http://www.pqm-online.com/assets/files/lib/std/iso_14040-2006.pdf (accessed on: 12.09.2017)
- Technical Committee ISO/TC 207 (2006b) *ISO 14044:2006: Environmental management — Life cycle assessment — Requirements and guidelines*. Available at: https://www.saiglobal.com/PDFTemp/Previews/OSH/iso/updates2006/wk26/ISO_14044-2006.PDF (accessed on: 12.09.2017).
- Trafikverket (2017). *North Bothnia Line*. Available at: <http://www.trafikverket.se/en/startpage/projects/Railway-construction-projects/north-bothnia-line/> (viewed on: 12.09.2017).
- U.S. Energy Information Administration. (2016). *International Energy Outlook*. Available at: [https://www.eia.gov/outlooks/ieo/pdf/0484\(2016\).pdf](https://www.eia.gov/outlooks/ieo/pdf/0484(2016).pdf) (accessed on: 30.06.2017).
- Yue, Y., Tao Wang, T., Liang, S., Yang, J., Hou, P., Qua, S., Zhou, J., Jia, X., Wangc, H., Xu, M. (2015). Life cycle assessment of High Speed Rail in China. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 41, pp. 367–376. DOI: 10.1016/j.trd.2015.10.005

МЕТОДОЛОГИЯ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ КОНТРОЛЬНЫХ ФУНКЦИЙ ЗА ДВИЖЕНИЕМ ДОРОЖНЫХ МАШИН ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОЙ ФИКСАЦИИ АДМИНИСТРАТИВНЫХ ПРАВОНАРУШЕНИЙ

Мухтар Керимов¹, Равиль Сафиуллин², Александр Афанасьев³

^{1,2} Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, Россия, 190005, г. Санкт-Петербург, 2-ая Красноармейская ул., д. 4

³ Санкт-Петербургский государственный горный университет, Россия, 199106, г. Санкт-Петербург, 21-я лин. В.О., д. 2

safravi@mail.ru²

Аннотация

Рассмотрены актуальные вопросы внедрения систем автоматической фотовидеофиксации административных нарушений в сфере обеспечения безопасности дорожного движения. Обоснованы перспективные направления формирования контрольных функций за движением дорожных машин (ДМ) с использованием систем автоматизированного контроля транспортных средств. Разработана модель развития многоцелевых систем автоматизированного контроля движения дорожных машин. Определена характеристика этапов жизненного цикла существующих систем автоматической фотовидеофиксации административных правонарушений в дорожном движении с учетом особенностей их эксплуатации.

Результатом проведенного исследования является разработанная методика по оптимальному внедрению оперативно-технических средств контроля в сфере обеспечения безопасности дорожного движения (БДД), полученная зависимость финансовых затрат на поддержание работоспособности комплекса в течение всего срока службы, а также уровня снижения аварийности на конкретном участке улично-дорожной сети или отдельного субъекта РФ.

Ключевые слова

Средства автоматической фотовидеофиксации, административные правонарушения в дорожном движении, автоматизированный контроль, жизненный цикл, эффективность.

Введение

Одним из критериев перехода на новый уровень в развитии дорожных машин и технологии ее использования является повсеместное внедрение непрерывного мониторинга и условий их эксплуатации. Наиболее перспективным направлением научных исследований в мире является разработка интеллектуальных транспортных систем (ИТС). Такие системы обеспечивают возможность интеллектуального взаимодействия с единичными дорожными машинами либо с транспортным потоком, посредством информационных и коммуникационных технологий с целью повышения эффективности использования наземного транспорта и повышения безопасности движения (ГОСТ Р ИСО 14813-1-2011).

Методика

Обеспечение безопасности дорожного движения является сложной проблемой. Практика постановки научно-технических задач и принятия управленческих решений в данной предметной области свидетельствует о необходимости учёта иерархичности структуры дорожно-транспортных систем и реализуемых в них технологий, изменчивости во времени характеристик улично-дорожной сети, технических параметров парка дорожных машин и вероятностной природы условий их функционирования (ГОСТ Р ИСО 14813-1-2011).

Дорожно-транспортная аварийность зависит от различных причин технического, технологического, организационного, методологического характера.

Анализ статистических данных подтверждает, что резервы совершенствования механизма обеспечения БДД действующей практикой далеко не исчерпаны (Сафиуллин, Керимов, 2016). Сказанное объясняет актуальность задачи приведения действующей системы контроля дорожно-транспортной аварийности в соответствие с принципами системного управления безопасностью дорожного движения.

Для анализа влияния различных факторов на количество дорожно-транспортных происшествий (ДТП) в отдельных регионах РФ был выполнен множественный регрессионный анализ. В качестве факторов были приняты:

- удельный показатель, характеризующий отношение количества ТС на число вынесенных постановлений об административных правонарушениях (x_1), ТС/ед;

- сумма оплаченных штрафов* 10^5 (x_2), руб;

- количество стационарных САФ (x_3), шт;

- количество носимых САФ (x_4), шт;

- количество передвижных САФ (x_5), шт;

- количество мобильных САФ (x_6), шт;

- наличие знака о действии САФ (x_7), шт;

- плотность населения в регионе (x_8), чел/км²;

- плотность транспорта в регионе (x_9), шт/км²;

- протяженность автомобильных дорог (x_{10}), км;

- население региона* 10^6 (x_{11}), чел;

- территория региона (x_{12}), км²;

- количество ТС в регионе (x_{13}), ед.

В качестве показателя аварийности принято количество ДТП – Y. Для анализа взаимосвязи между рассматриваемыми параметрами использованы статистические данные за 2014 год, характеризующие влияние различных факторов на безопасность дорожного движения в исследуемых регионах: Москва, Московская область, Санкт-Петербург, Ленинградская область, Республика Татарстан, Воронежская область, Саратовская область (таблица 1).

Таблица 1. Статистические данные, характеризующие влияние факторов на безопасность дорожного движения

Факторы	Воронежская область	Москва	Московская область	Санкт-Петербург	Ленинградская область	Республика Татарстан	Саратовская область
ДТП	3,555	11,312	9,042	8,222	4,074	5,399	3,101
x_1	3.62	12.23	5.90	1.76	1.13	7.82	0.99
x_2	1,127.65	5,490.53	1,100.32	329.66	255.88	2,892.65	224.65
x_3	39	708	186	66	66	201	26
x_4	62	301	15	22	22	296	49
x_5	1	5	0	0	0	0	0
x_6	1	0	8	0	0	17	1
x_7	38	70	89	75	75	39	42
x_8	44.60	4,822.10	160.70	3,566.70	21.02	56.57	24.66
x_9	13.72	261.50	18.22	521.63	8.13	9.14	6.73
x_{10}	11,602	737	27,229	531	13,662	22,267	11,799
x_{11}	2.33	13.11	7.33	5.13	1.70	3.84	2.50
x_{12}	52,216	2,511	44,379	1,439	83,008	67,847	101,240
x_{13}	716,388	656,766	808,847	750,623	682,385	620,688	681,453

Анализ показывает, что максимальное влияние на показатель ДТП имеют факторы x_9 , x_{10} , и x_{12} . Наибольшее влияние имеет фактор x_{11} , от которого на 88,4% зависит количество ДТП, т.е. $0,942=0,884$.

Остальные факторы являются менее значимыми (Сафиуллин и др., 2016).

Из корреляционной таблицы видно, что некоторые факторы являются коррелированными. Например, факторы x_1 и x_2 имеют связь, оцениваемую величиной 0,96, а x_2 и x_3 - 0,95. Практически все факторы имеют положительную корреляцию с ДТП, т.е. их увеличение приводит к увеличению количества ДТП.

Факторы x_6 , x_{10} и x_{12} имеют отрицательную корреляцию с ДТП, их увеличение приводит к уменьшению количества дорожно-транспортных происшествий.

По программе Stat graphics был выполнен множественный регрессионный анализ влияния факторов x_8 , x_9 и x_{11} на количество ДТП.

В таблице 2 представлены статистические характеристики полученной зависимости: коэффициенты уравнения, оценки их достоверности по t -критерию, анализ степени влияния факторов на зависимую переменную (т.е. коэффициенты множественной детерминации).

Таблица 2. Корреляционная связь между различными показателями, влияющими на БДД в исследуемых регионах

	Столб. 1	Столб. 2	Столб. 3	Столб. 4	Столб. 5	Столб. 6	Столб. 7	Столб. 8	Столб. 9	Столб. 10	Столб. 11	Столб. 12	Столб. 13	Столб. 14
Строка 1	1													
Строка 2	0.7006	1												
Строка 3	0.6309	0.9661	1											
Строка 4	0.7784	0.9146	0.9456	1										
Строка 5	0.3582	0.8471	0.9028	0.7459	1									
Строка 6	0.6170	0.7745	0.8657	0.9164	0.6247	1								
Строка 7	-0.0135	0.3447	0.2029	-0.0014	0.4564	-0.3061	1							
Строка 8	0.6576	0.0693	0.0303	0.2433	-0.3201	0.0869	-0.2376	1						
Строка 9	0.7833	0.4937	0.5811	0.7048	0.3753	0.7284	-0.3927	0.3635	1					
Строка 10	0.5812	0.0701	0.1305	0.2457	0.0165	0.2687	-0.3751	0.3776	0.8460	1				
Строка 11	-0.2555	-0.0234	-0.2194	-0.3086	-0.1017	-0.5378	0.7263	-0.0178	-0.7904	-0.7518	1			
Строка 12	0.9445	0.8273	0.7912	0.9123	0.5141	0.7981	-0.0420	0.4713	0.7691	0.4255	-0.2804	1		
Строка 13	-0.8416	-0.5010	-0.4813	-0.5665	-0.2383	-0.5580	0.2044	-0.4632	-0.8621	-0.8174	0.5411	-0.7373	1	
Строка 14	0.2554	-0.3062	-0.4788	-0.3000	-0.7354	-0.3066	-0.2250	0.6157	-0.0472	0.1898	0.1893	0.0763	-0.2757	1

Все коэффициенты являются статистически значимыми и на 94,4% описывают влияние на зависимую переменную.

Таблица 3. Статистические характеристики полученной математической модели

		Standard	T	
Parameter	Estimate	Error	Statistic	P-Value
CONSTANT	1,326.05	698.759	1.89772	0.1540
x_8	-1.09546	0.528357	-2.07333	0.1298
x_9	10.5527	3.81843	2.76361	0.0699
x_{11}	1,033.04	172.974	5.97221	0.0094

Математическая модель имеет вид:

$$y = 1326,05 - 1,09546 * x_8 + 10,5527 * x_9 + 1033,04 * x_1 \quad (1)$$

По степени влияния факторы имеют следующее расположение: x_8 , x_{11} , x_9 . Влияние факторов является статистически значимым.

Влияние на ДТП факторов x_1 , x_2 , x_3 и x_8 также имеют хорошую статистически значимую модель:

$$y = 2379,24 + 1543,63 * x_1 - 3,9134 * x_2 + 9,4035 * x_3 + 1,0307 * x_8 \quad (2)$$

Статистические характеристики полученной модели представлены в таблице 4.

Таблица 4. Статистические характеристики математической модели

Parameter	Estimate	Standard Error	T Statistic	P-Value
CONSTANT	2,379.24	377.889	6.29614	0.0243
x_1	1,543.63	193.139	7.99232	0.0153
x_2	-3.91341	0.472106	-8.28924	0.0142
x_3	9.40355	3.09578	3.03754	0.0934
x_8	1.0307	0.153725	6.70487	0.0215

Разработанная математическая модель показывает зависимость количества дорожно-транспортных происшествий от различных факторов x_1 , x_2 , x_8 . Указанные факторы затрагивают управление, технологические и методологические аспекты проблемы - повышения ПДД. Анализ полученной модели показывает, что основной вклад в аварийность вносит количество зарегистрированных транспортных средств (ТС) в конкретном регионе - x_1 . Указанный фактор учитывается в модели через нормативный показатель - количество приходящихся ТС на одно устройство фотовидеофиксации (ФВФ). Рекомендуемая обеспеченность региона средствами автоматической фиксации составляет один комплекс на 6,5 тысяч транспортных средств (Сафиуллин, Ворожейкин, 2016; Керимов, 2015).

Основная часть

Этапы жизненного цикла средств автоматической фотовидеофиксации нарушений правил дорожного движения представлены на рисунке 1.

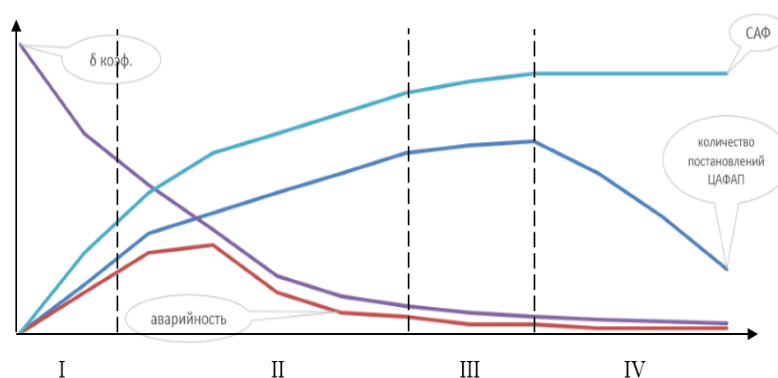


Рисунок 1. График жизненного цикла САФ

Разработанный график жизненного цикла средств автоматической фотовидеофиксации, включает четыре этапа (Керимов, 2015).

I этап – «Локальное влияние на аварийность», на котором происходит увеличение количества комплексов фотовидеофиксации и отладка их работы. На данном этапе происходит заметный рост выявленных правонарушений. Результатом является снижение аварийности в местах установки комплексов, однако на общую аварийность влияние оказывается незначительным.

II этап – «Начало системного влияния на аварийность», где САФ выходят на стабильный уровень работы. Количество комплексов постоянно увеличивается, выбор мест установки осуществляется на основе

очагового анализа ДТП. Выявляемость нарушений правил дорожного движения растет. Начинается влияние на аварийность на участках улиц, оснащенных САФ. Для повышения эффективности системы САФ на данном этапе возможно применение муляжей и имитаторов сигналов, при этом в местах их использования необходимо периодически применять действующие комплексы фотовидеофиксации.

III этап – «Период роста системного влияния САФ на аварийность» На этом этапе после роста начинается постепенное снижение числа выявляемых административных правонарушений, так как возрастает уровень информированности водителей о повсеместном контроле за движением дорожных машин. Как следствие, происходит снижение аварийности. Причем увеличение количества САФ продолжается. Комплексы устанавливаются во всех вновь выявляемых очагах аварийности и потенциально опасных местах и в конце этапа достигают необходимого значения.

IV этап – «Период стабильной работы системы фотовидеофиксации», при котором происходит стабилизация всех показателей, в результате чего дальнейшее наращивание количества комплексов фотовидеофиксации нецелесообразно. При реализации этих средств в регионах РФ происходит насыщение комплексами фотовидеофиксации, после чего их эффективность снижается. Соответственно должны измениться задачи и цели их применения, а также и возможности этих комплексов. В этой связи огромное значение имеет дальнейшее развитие взаимодействия САФ с интеллектуальными бортовыми системами машин.

Для улучшения информационного обмена между интеллектуальными бортовыми системами машин и средствами автоматической фотовидеофиксации были предложены информационно-аналитическая система (ИАС) и рекомендации по её развитию (рисунок 2).

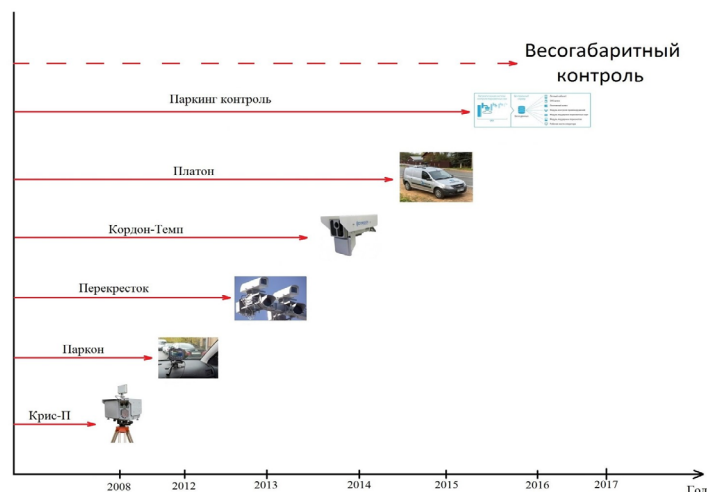


Рисунок 2. Развитие средств автоматической фотовидеофиксации на территории Российской Федерации

Информационно-аналитическая система взаимодействия ИБТС со средствами автоматической фотовидеофиксации позволит обеспечить эффективность использования ДМ, повысить безопасность дорожного движения, решить социальные задачи на выполнение транспортной работы и снизить нагрузки на окружающую среду за счет расширения функциональных возможностей САФ. Механизм взаимодействия данной системы с транспортным средством показана на рисунке 3.

Механизм взаимодействия заключается в передаче двух потоков информации от ДМ к ИАС. Внешний поток информации несет в себе данные о движении машины (а именно ГРЗ, скорость движения, габариты ДМ и т.д.). Внутренний поток несет информацию о техническом состоянии ТС. После обработки информации комплексом и сверки по базам данных государственных органов, в свою очередь система передает обратный сигнал к ДМ, который может нести в себе информацию о возможных затруднениях дорожного движения на пути дальнейшего следования, предупреждение о необходимости снизить скорость, оповещение о нарушении правил парковки и т.д. (Сафиуллин, Беликова, 2015)

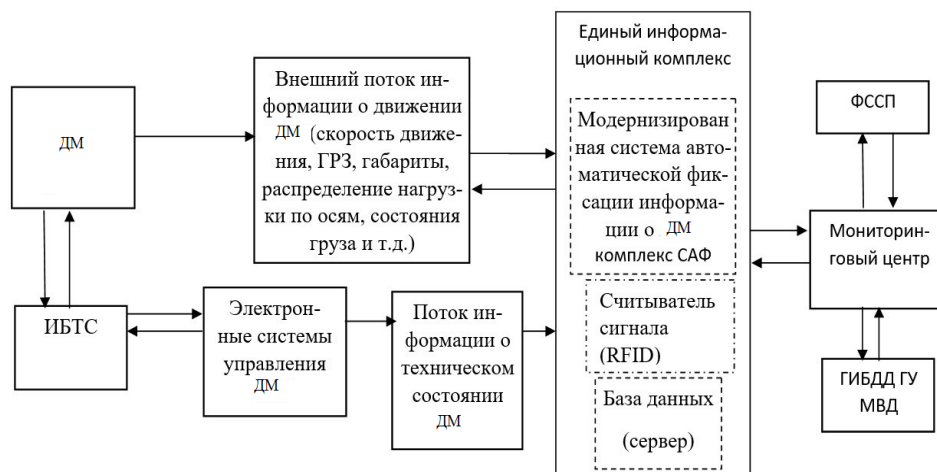


Рисунок 3. Механизм взаимодействия информационно-аналитической системы с дорожными машинами

Таблица 5. Функциональные возможности многоцелевой информационно-аналитической системы

Функция	Описание
F ₁	Принудительное ограничение скорости
F ₂	Проверка по базам данных ДМ, находящихся в розыске
F ₃	Принудительная остановка при включении запрещающего сигнала светофора
F ₄	Передача идентификационного номера
F ₅	Передача информации о скорости движения ДМ в данный момент
F _{5'}	Передача информации о скорости движения ДМ за определенный участок
F ₆	Передача информации о техническом состоянии ДМ

Отличие данной системы от существующих заключается в возможности осуществления информационного обмена в двухстороннем режиме и оказании воздействия на ДМ, что делает данные системы намного эффективнее по сравнению с системами, функционирующими в настоящее время.

В таблице 6 приведены существующие и перспективные функциональные возможности средств автоматической фотовидеофиксации на территории РФ.

Таблица 6. Существующие и перспективные функциональные возможности средств автоматической фотовидеофиксации

Функции средств автоматической фотовидеофиксации (существующие)	Функции средств автоматической фотовидеофиксации (перспективные)
F ₅	F ₁
F _{5'}	F ₂
	F ₃
	F ₄
	F ₆
	F _n

На основании анализа данных функций разработана модель развития многоцелевых систем автоматизированного контроля движения ДМ, которая имеет вид (Сафиуллин, Керимов, 2017):

$$W_1 = f(F_5, F_5) \rightarrow W = f(F_1, F_2, F_3, F_4, F_5, F_5, F_6, \dots, F_n), \quad (3)$$

где W_1 – функция от параметров, действующих на данный момент; W – функция от тех параметров к которым нужно стремиться (перспективные).

Оценка влияния средств автоматической фиксации нарушений правил дорожного движения на аварийность может осуществляться в соответствии с разработанной схемой последовательности определения эффективности применения САФ, представленной на рисунке 4. В схеме приняты следующие обозначения:

C_D – стоимость одного технического средства САФ, руб.;

$\eta_{ТР}$ – норма отчислений на ТО и ТР технических средств САФ в год, %;

$СБ_{КУ}$ – сборка технических средств САФ, монтаж и настройка;

$ЗП_{ОП}$ – заработная плата операторов, руб.;

$ЗП_{техн}$ – заработная плата техников, руб.;

$ЗП_{вод}$ – заработная плата водителей ДМ, руб.;

Q – количество технических средств САФ, ед.;

C_i – стоимость монтажа «под ключ», руб.;

C_M – стоимость ежегодного ТО, руб. в год;

i – ставка по кредиту, %;

n – срок службы, в год;

$УК_{СКДД}$ – удельные капитальные вложения на строительство рубежа контроля ДД, руб.;

$УК_{монтаж СКДД}$ – удельные капитальные вложения на монтаж технического средства САФ, руб.;

k_2 – коэффициент увеличения затрат на технические средства САФ;

$З_{знак}$ – затраты на дорожный знак, руб.;

$З_{монтаж знака}$ – затраты на монтаж дорожного знака, руб.;

m – количество дорожных знаков, ед.;

D_{RTA}^b – ущерб от ДТП в базовом варианте, руб.;

N_{RTA}^c – годовое число ДТП в базовом варианте, ед.;

D_{RTA}^p – ущерб от ДТП в проектируемом варианте, руб.;

N_{RTA}^p – годовое число ДТП в проектируемом варианте, ед.

$\delta_1, \delta_2, \delta_3$ – влияние САФ на БДД по показателям: количество ДТП, количество раненых, количество погибших.

Заключение

Для того, чтобы оценить воздействие системы автоматической фиксации на безопасность дорожного движения, необходимо провести исследование на двух уровнях: на первом – дать абсолютную оценку ДТП, на втором – проанализировать влияние систем автоматической фиксации на количество ДТП с точки зрения места их совершения и разновидностей последних [5]. Внедрение «корреляционной системы фиксации» позволяет оценить на практике эффективность использования различных технических средств автоматической фиксации нарушений правил дорожного движения, а также степень их влияния на показатели аварийности. Сформулированная научно-техническая задача решается с использованием методов и программных средств, реализующих разработанный системный критерий (Сафиуллин и др., 2015, 2016; Сафиуллин, Керимов, 2017).

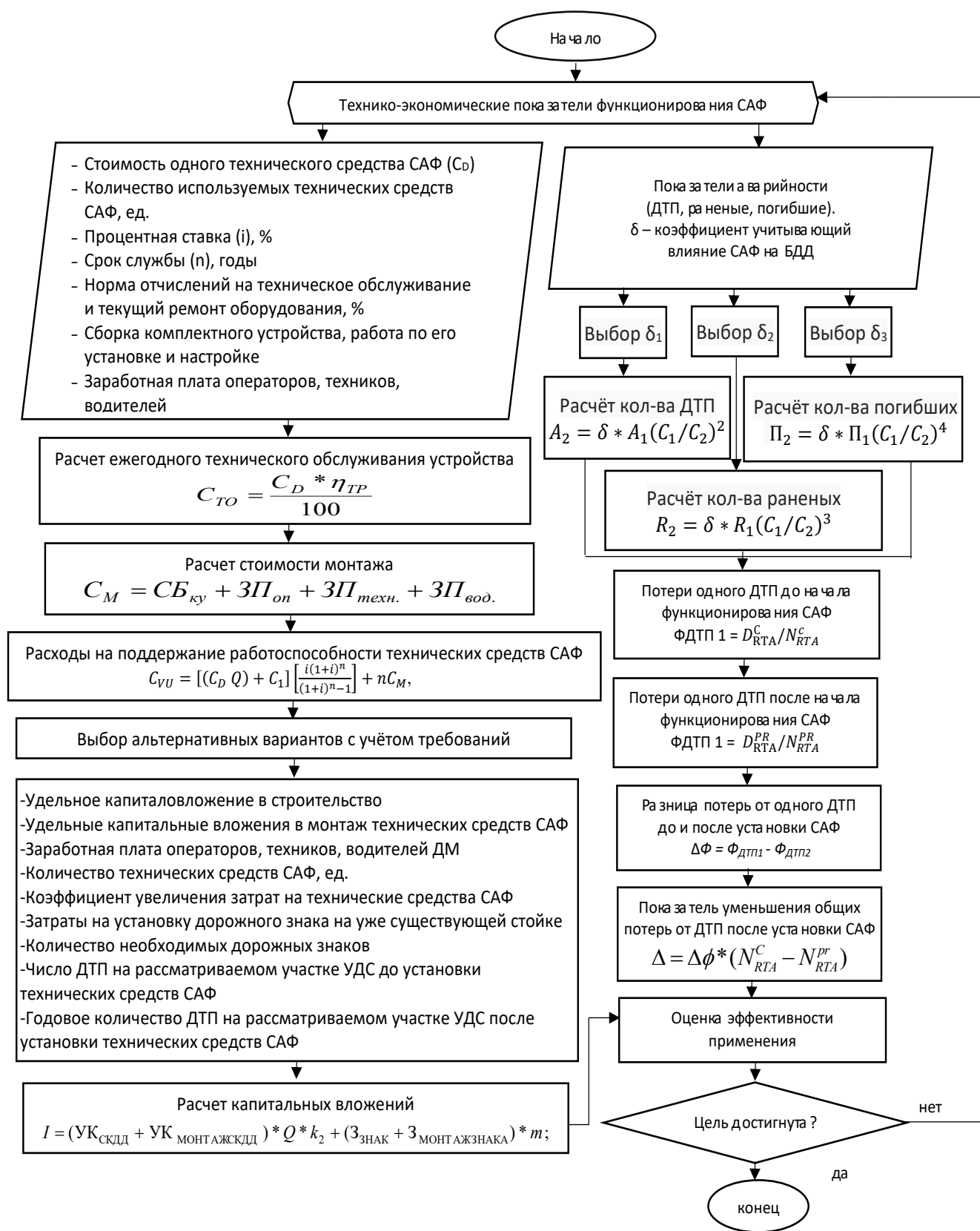


Рисунок 4. Схема последовательности определения эффективности применения средств автоматической фотовидеофиксации административных правонарушений в дорожном движении

Выводы

На основании проведенного исследования определены методологические подходы по совершенствованию контрольных функций за движением дорожных машин при использовании систем автоматической фиксации, определяющие их эффективное применение. Разработана математическая модель оценки эффективности САФ при реализации административных процедур по контролю за дорожным движением с целью повышения БДД. Определён жизненный цикл функционирования САФ. Разработана информационно-аналитическая система взаимодействия интеллектуальных бортовых систем машин со средствами автоматической фотовидеофиксации. Указанная система позволит определить модель развития многоцелевых комплексов автоматизированного контроля за движением машин для обеспечения эффективности использования наземного транспорта за счет расширения функциональных возможностей САФ.

Литература

Safiullin, R.N., Kerimov, M.A., Marusin, A.V. (2017). Evaluation of Functional Efficiency of Automated Traffic Enforcement Systems. *Transportation Research Procedia*, 20, pp. 288–294. DOI: 10.1016/j.trpro.2017.01.025

ГОСТ Р ИСО 14813-1-2011. (2012). *Интеллектуальные транспортные системы. Схема построения архитектуры интеллектуальных транспортных систем. Сервисные домены в области интеллектуальных транспортных систем, сервисные группы и сервисы*. Москва: СТАНДАРТИНФОРМ, с.120.

Керимов, М.А. (2015). Методологические основы выбора средств автоматической фиксации нарушений ПДД. В: *материалах всероссийской конференции «Проблемы исследования систем и средств автомобильного транспорта»*. Тула: Тульский государственный университет, ч.1, с.107–110.

Сафиуллин, Р.Н., Беликова, Д.Д. (2015). К правовым вопросам применения автоматизированной системы фотовидеофиксации нарушений ПДД в РФ. *Вестник гражданских инженеров*, 2(49), с.121–126.

Сафиуллин, Р.Н., Ворожейкин, И.В. (2016). *Перспективы развития автоматизированной системы фотовидеофиксации административных нарушений в РФ с целью создания информационно-аналитической системы взаимодействия с интеллектуальными бортовыми транспортными системами*. Воронеж: Воронежский государственный лесотехнический университет, ч. 1, pp. 342–347.

Сафиуллин, Р.Н., Керимов, М.А. (2016). *Средства фотовидеофиксации нарушений ПДД: нормативное регулирование и практика применения*. Москва: Директ-Медиа, с.355.

Сафиуллин, Р.Н., Керимов, М.А. (2017а). Методологический подход к формированию и оценке системы автоматизированного контроля транспортных средств. *Вестник гражданских инженеров*, 1(60), с.246–252.

Сафиуллин, Р.Н., Керимов, М.А. (2017б). Совершенствование контрольных функций средств автоматической фотовидеофиксации административных нарушений автомобильного транспорта. В: *материалах X международной конференции «Организация и безопасность на дороге»*. Тюмень: Тюменский индустриальный университет, с.387–392.

Сафиуллин, Р.Н., Керимов, М.А., Марусин, А.В. (2015). *О моделировании дорожно-транспортной аварийности при использовании технических средств контроля нарушений ПДД*. Прага: Издательство "Education and Science", с.17–22.

Сафиуллин, Р.Н., Керимов, М.А., Марусин, А.В. (2016). Повышение эффективности системы фотовидеофиксации административных правонарушений в дорожном движении. *Вестник гражданских инженеров*, 3 (56), с. 233-237.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ УЧЕТА ПАРАМЕТРОВ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

Елена Куракина¹, Сергей Евтюков²

^{1,2} Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, Россия, 190005, г. Санкт-Петербург, 2-ая Красноармейская ул., д. 4

¹ elvl_86@mail.ru

Аннотация

Обоснована необходимость совершенствования системы учета параметров дополнительного числа факторов технического состояния транспортных средств и объектов дорожной среды, закладываемых при проектировании и строительстве автомобильных дорог. Предложена методика определения обстоятельств и причин дорожно-транспортных происшествий, учитывающая транспортно- и технико-эксплуатационные условия. Предложен усовершенствованный алгоритм экспертизы с применением неразрушающего метода посредством диагностического оборудования динамического воздействия.

Система учета включает алгоритм экспертизы дорожно-транспортных происшествий, в котором предложены параметрические характеристики объектов и условия их существования для функционирования методики. Для выявления «слабых» участков автомобильных дорог предложены критерии. Предложена модель реализации процесса экспертного исследования с учетом параметров подсистемы «Автомобиль – Дорога». Обоснованы возможность определения риска возникновения дорожно-транспортных происшествий, «слабых» участков эксплуатируемых автомобильных дорог, создание автоматизированного банка данных об автомобильных дорогах, применение результатов исследования в экспертных заключениях при анализе и реконструкции дорожно-транспортных происшествий.

Ключевые слова

Автомобильная дорога, дорожное покрытие, транспортное средство, параметры, экспертиза дорожно-транспортных происшествий.

Введение

Совершенствование системы учета параметров при строительстве автомобильных дорог основано на включении в экспертное исследование дополнительного числа факторов технического состояния транспортных средств и объектов дорожной среды, закладываемых при проектировании и строительстве автомобильных дорог. Экспертное исследование представляет собой комплекс последовательных систематизированных теоретических и практических способов или действий, направленных на выявление причин и факторов, повлекших возникновение отказа в системе Водитель – Автомобиль – Дорога – Среда (ВАДС). Отказ в системе означает нарушение работоспособного состояния одного из ключевых компонентов – «Автомобиль», «Водитель», «Дорога» или их взаимосвязи, в том числе и «Среда», которые в свою очередь перестают выполнять частично или целиком свои заданные функции, что приводит к нарушению безопасной работы всей системы. Анализ нарушения работоспособности или предупреждение отказа возможно посредством качественного экспертного исследования. Научные исследования некоторых параметров состояния подсистемы «Автомобиль – Дорога» ученых Немчинова М.В., Васильева А.П., Домке Э.Р. направлены на эффективность торможения и сцепные характеристики колеса с дорожным покрытием на стадии эксплуатации и реконструкции последнего (Немчинов, 1985; Васильев, 2005; Домке, 2012; Куракина, Евтюков, 2015).

Диагностическими исследованиями элементов эксплуатируемых автомобильных дорог на участках дорожных условий, влияющих на безопасность дорожного движения, занимались ученые Суворов Ю.Б., Кикоть И.М. и другие (Суворов и др., 1990). Кирюхиным Г.Н. обоснована актуальность диагностики дорожных покрытий и определение характеристик транспортных потоков посредством широкого выбора приборов и

оборудования для проведения испытаний и диагностики автомобильных дорог (Куракина, 2017; Куракина и др., 2017).

Обеспечение экспертного исследования включает в себя методики, алгоритмы, методы, приемы, технологии и оборудование. В зависимости от цели экспертного исследования, его сложности и количества поставленных вопросов. Вопросы исследований различного характера освещены в трудах таких ученых, как Боровский Б.Е., Иларионов В.А., Евтукоев С.А., Замараев И.В., Столяров В.В. (Илларионов, 1989; Евтукоев, Васильев, 2012). Однако при строительстве систему учета основных параметров подсистемы «Дорога» регламентируют нормативные документы сферы строительства. Взаимное комплексное исследование состояния параметров подсистемы «Автомобиль – Дорога» необходимо проводить на всех стадиях строительства, эксплуатации, реконструкции в целях предупреждения возникновения аварийно-опасных состояний (Kurakina, Evtuykov, 2017; Куракина и др., 2017; Куракина, 2014а; Куракина, Евтукоев, 2014).

Потенциал совершенствования системы учета параметров при строительстве автомобильных дорог направлен на применение методики дорожно-транспортного экспертного исследования неразрушающим методом. Применение предлагаемой методики возможно и на эксплуатируемых участках автомобильных дорог. Область ее применения включает дорожную и автотехническую экспертизы, а также исследование параметров состояния дорожного покрытия и определение его остаточного ресурса.

Предмет, задачи и методы

Предметом являются параметры состояния наземных транспортных средств и объектов дорожной инфраструктуры.

Задачи заключаются в следующем:

- получение фактических данных о параметрах состояния подсистемы «Автомобиль – Дорога» посредством современного автоматизированного, многофункционального диагностического оборудования;
- разработка методики и ее алгоритма в целях повышения достоверности определения обстоятельств и причин ДТП, и как следствие точности расчетов экспертных заключений;
- выявление «слабых» участков автомобильных дорог;
- создание банка данных об автомобильных дорогах с исследуемыми параметрами состояния подсистемы «Автомобиль – Дорога», влияющими на риск возникновения ДТП, определяющий места возможных ДТП, разработку мероприятий по своевременному их предупреждению.

Методы реализации поставленных задач включают в себя методы анализа, свойств и возможностей совершенствования сложных многофункциональных систем – статический и системный, методы математические, программно-вычислительные, теории вероятности и обработки результатов исследования, информационные технологии.

Результаты и обсуждение

Для методического обеспечения алгоритма экспертизы ДТП необходимо учесть параметрические характеристики объектов и условия их существования для функционирования методики. Прежде всего, необходимо учесть, что экспертное исследование проводится на автомобильных дорогах категорий: IA, IB, IB, II, III, IV, V и учитывает характеристики и условия, большая часть которых устанавливается на этапе строительства автомобильных дорог:

- ГОДС – геометрия объектов дорожной среды;
- ТрЭУ – транспортно-эксплуатационные условия;
- ТехЭУ – технико-эксплуатационные условия;
- ХОДИ – характеристика объектов дорожной инфраструктуры.

Получение информации о ГОДС, ТрЭУ, ТехЭУ, ХОДИ возможно посредством аналитического, диагностического и программно-вычислительного способов получения и обработки параметрических характеристик (Куракина, 2014b, 2014c, 2015).

Математически модель реализации процесса экспертного исследования с учетом параметров подсистемы «Автомобиль – Дорога» можно представить в следующем виде:

$$Y = f(X) \quad (1)$$

где X – параметры, участвующие и определяемые в процессе исследования.

Учитывая способы получения и обработки параметров в исследовании, значения суммы всех характеристик и условий X можно представить в виде:

$$\left. \begin{aligned} \sum_{i=1}^n X^A &= f(x_i^A) \\ \sum_{i=1}^n X^D &= f(x_i^D) \\ \sum_{i=1}^n X^C &= f(x_i^C) \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

где $f(x_i^A)$ – определяемые параметры, их характеристики и условия аналитическим способом, соответственно $f(x_i^D)$ – диагностическим и $f(x_i^C)$ – программно-вычислительным, i – количество полученных значений исследуемых параметров.

Учитывая формулу 2, имеем множество значений параметров, полученных в процессе ДТИ аналитическим, диагностическим и программно-вычислительным способами.

Следовательно, с учетом формулы 1 и определяемых параметров, учет в реализации процесса экспертного исследования, в которой присутствует множество значений параметров, будет характеризовать влияние участвующих в процессе исследования параметров.

Оценка параметрических характеристик объектов и условий представляет собой экспертное заключение о результатах проведенного исследования, направленное на следующее:

- определение технической возможности предотвращения ДТП;
- соответствие полученных значений параметров состояния транспортных средств и дорожной инфраструктуры требованиям нормативно-правовых документов;
- выявление «слабых» участков автомобильных дорог;
- определение риска возникновения ДТП;
- создание автоматизированный банк дорожных данных (АБДД) о «слабых» участках.

Исследуемые параметры технического состояния ТС и дорожной инфраструктуры сгруппированы в блоки, состоящие в общем алгоритме проведения экспертного исследования неразрушающим методом.

На Рисунке 1 (а,б,в,г) в Блок А включены параметры, относящиеся к ГОДС (геометрия объектов дорожной среды). В Блок Б включены параметры, характеризующие ТрЭУ (транспортно-эксплуатационные условия) (рис.2). На Рисунке 3 представлены параметры, возникающие в ТехЭУ (техничко-эксплуатационные условия), Блок В. Многозначительным параметром является коэффициент сцепления автомобильной шины транспортного средства (ТС) с дорожным покрытием, поскольку на разных типах покрытий и условий его значения разнятся. ХОДИ (характеристика объектов дорожной инфраструктуры), в Блоке Г, в экспертном исследовании учитываются такие параметры, как вид, состояние искусственных сооружений (мосты, путепроводы, тоннели), состояние водопропускной системы, наличие километровых обозначений, освещения, пересечений с железнодорожными переездами, наличие исправных средств технической организации дорожного движения (ТСОД).

Получение информации о значениях параметров технического состояния ТС и дорожной инфраструктуры, включающие в себя ГОДС, ТрЭУ, ТехЭУ, ХОДИ, возможно, посредством диагностического оборудования. При составлении Блоков А – В, а также Блок Г, применялись нормативные источники.

Зависимость процесса экспертного исследования, проводимого диагностическим способом, в ходе которого определены параметры состояния подсистемы «Автомобиль-Дорога», имеет следующий вид:

$$\begin{aligned} Y(X^D) &= f(N_i, W_{pull}, W_{marg}^{sh}, W_{div.str.}^{cent}, \\ &S_{marg}^{sh}, L_{stop}, i, i_{trans}, i_r, R_{curve}, S_{cl}, R_{convex}, R_{concave}, \\ &Z, h_f, \angle_{slope}, I_{veh}, M_1 \div O_2, V_a, G_{veh}, K_P^{I-V}, \\ &N_{acc}, ACC_{abs}, ACC_{rel}, \varphi, t, r, r_h, E, \\ &D_{r.s.}, T_{a.s.}, T_{drain}, T_{loc}^{signs}, T_{light}, T_{rail}, MTORT), \end{aligned} \quad (3)$$

где N_i – число полос движения; W_{pull} – ширина краевой полосы, м; W_{marg}^{sh} – ширина укрепительной полосы обочины, м; $W_{div.str.}^{cent}$ – ширина центральной разделительной полосы, м;

S_{marg}^{sh} – укрепительная полоса обочины, м; L_{stop} – остановочная полоса, м; i – продольный уклон, промилле; i_{trans} – поперечный уклон, промилле; i_r – уклон на вираже, промилле; R_{curve} – радиусы кривых в плане, м;



Рисунок 1а. Составляющие параметры Блока А: количество полос движения, ширина проезжей части и обочин, краевой полосы, укрепленной части обочин, разделительной полосы



Рисунок 1б. Составляющие параметры Блока А: состояние и материалы укрепительной и остановочной полос



Рисунок 1в. Составляющие параметры Блока А: продольный и поперечный уклоны, на вираже, радиусы кривизны, выпуклых и вогнутых кривых, расстояние видимости



Рисунок 1г. Составляющие параметры Блока А: состояние земляного полотна, высота насыпи, глубина выемок, крутизна откосов

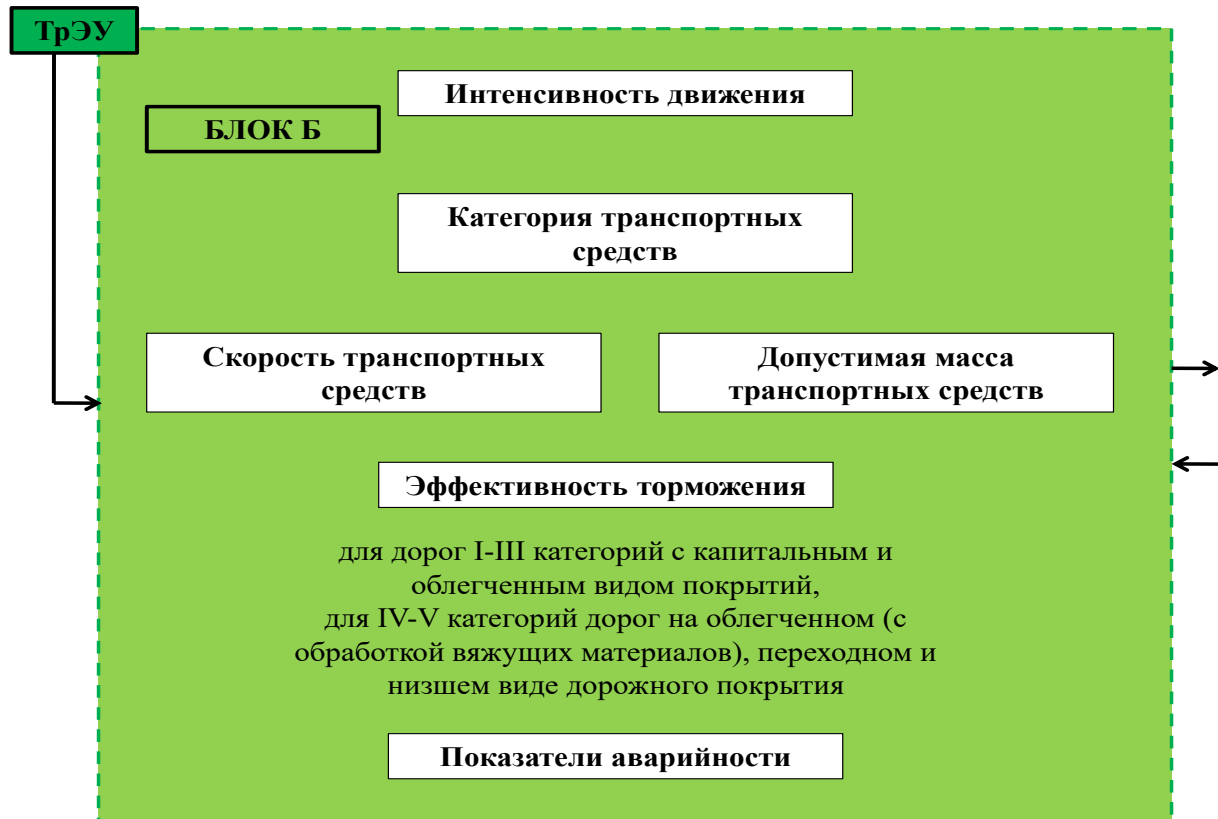


Рисунок 2. Составляющие параметры Блока Б: интенсивность движения и категории ТС, их скорость, допустимая масса, показатели аварийности, эффективность торможения ТС

ТехЭУ

Коэффициент сцепления

Вид дорожного покрытия	Состояние покрытия	Коэффициент сцепления
Асфальт, бетон	сухое/мокрое	0,70÷0,80/0,50÷0,60
	грязное/слой снега до 5 см	0,25÷0,45/0,20÷0,40
Бульжник, брусчатка	сухое/мокрое	0,60÷0,70/0,40÷0,50
Грунтовая дорога	сухая/мокрая/грязная	0,60÷0,70/0,20÷0,40/0,15÷0,30
Песок	влажный/сухой	0,40÷0,50/0,20÷0,30
Суглинок	сухой	0,40÷0,50
	увлажненный до пластического состояния	0,20÷0,40
	увлажненный до текучего состояния	0,15÷0,25
Луговина, болотистый луг	покрытые дерном	0,10÷0,40
Снег	рыхлый/уплотненный (укатанная дорога)	0,20÷0,40/0,30÷0,50
Лед	Гладкий, при температуре воздуха ниже 0 С	0,05÷0,10

Шероховатость

φ при V=60км/ч

Шероховатость - средняя высота выступов каменного материала, мм

Гидравлическая шероховатость

Кoeffициент сцепления, %

Скорость ТС, км/ч

Колейность

Скорость ТС	Глубина колеи, мм	
	допустимая	предельно допустимая
>120	4	20
120	7	20
100	12	20
80	25	30
60 и меньше	30	35

Дефекты дорожного покрытия

Модуль упругости

Несущая способность

Рисунок 3. Составляющие параметры Блока В: коэффициент сцепления, дорожная колейность, шероховатость покрытия, наличие дефектов, модуль упругости, несущая способность покрытия

S_{cl} – расстояние видимости до объекта, м; R_{convex} – радиусы выпуклых кривых в профиле, м; $R_{concave}$ – радиусы вогнутых кривых в профиле, м; Z – конструкция земляного полотна; h_f – высота насыпи, м; h_e – высота выемки, м; \angle_{slope} – уклоны откосов; I_{veh} – интенсивность движения ТС, авт./сут.; $M_1 \div O_2$ – категории ТС от M_1 до O_2 ; – скорость движения ТС, км/ч; V_a – масса ТС, т; G_{veh} – коэффициент эффективности торможения ТС; N_{ACC} – число дорожно-транспортных происшествий; ACC_{abs} – абсолютный показатель аварийности; ACC_{rel} – относительный показатель аварийности; φ – коэффициент сцепления автомобильной шины с дорожным покрытием; t – глубина колеи (колеиность дорожного покрытия), см; r – шероховатость дорожного покрытия, средняя высота выступов материала, мкм; r_h – шероховатость гидравлическая; E – модуль упругости, МПа; $D_{r.s.}$ – дефекты дорожного покрытия; $T_{a.s.}$ – искусственные сооружения; T_{drain} – состояние водоотвода; T_{loc}^{signs} – наличие километровых столбиков; T_{light} – наличие освещения; T_{rail} – наличие пересечений с железнодорожным переездом; $MTORT$ – оснащенность техническими средствами организации движения.

Алгоритм реализации методики в целях повышения достоверности определения обстоятельств и причин ДТП представлен в виде блок-схемы последовательно реализующихся этапов (рисунок 4). Перед началом выполнения исследования необходимо определить задачи и цели необходимости проведения экспертизы и желаемых результатов.

Получение исходных данных или дополнительных о параметрах ТС и дорожной инфраструктуры возможно диагностическим оборудованием, требования и характеристики представленных в Блоках А-Г. Важным этапом является определение соответствия получаемых фактических параметров. Заключается в сравнении их с нормативными значениями и установление отклонения первых от эталонных. Таким образом, увеличивается возможность точно определить причины произошедшего ДТП.

Оценка фактических значений параметров состояния ТС и дорожной инфраструктуры осуществляется посредством их сравнения с эталонными, то есть нормативными. Данный процесс позволяет установить виновных в произошедшем ДТП. Например, причина ДТП – наличие дефектов покрытия (ямы, выбоины), геометрические параметры которых не соответствуют требованиям НПД. Виновным является дорожная организация или службы, своевременно не устранившие опасный участок. Также несвоевременная работа служб по содержанию дорожного покрытия в зимний период (гололед, снег), повысит риск возникновения ДТП. Таким образом, фиксация параметров и качественный разбор места ДТП является важным требованием при формировании информации о ДТП, материалов дела (Куракина и др., 2017; РосдорНИИ, 2015).

Наличие колеи, прогибов дорожного покрытия, изменение его состояния в процессе эксплуатации также способствует росту аварийности. Периодический контроль и оценка технического состояния эксплуатируемых дорожных покрытий – обязательное условие для обеспечения работоспособного состояния и пропускной способности дорог. Тем самым обусловлена необходимость проведения ДТИ и как результат – оценка состояния дорожного покрытия и определение остаточного срока службы дорожного покрытия. Для выявления «слабых» участков автомобильных дорог предложены следующие критерии:

- степень опасности участков дорог;
- уровень стабильности аварийности;
- безопасные условия движения;
- срок службы дорожного покрытия.

Измерение и определение каждого из критериев осуществляется по показателям состояния и срокам службы.

Разработанный алгоритм реализации ДТП неразрушающим методом позволяет решать задачи по многим направлениям, с учетом взаимодействия сложных структур с множеством параметров, т.е. в направлении транспортного средства и дорожной инфраструктуры. Диагностические исследования проводятся посредством установки динамического нагружения Dynatest FWD (Куракина, 2016, 2017).

В основу алгоритма экспертного исследования неразрушающим методом для выявления «слабых» участков автомобильных дорог положен новый отраслевой методический документ «Рекомендации по учету и анализу дорожно-транспортных происшествий на автомобильных дорогах Российской Федерации». На основании него производится оценка общего состояния аварийности и тенденций ее изменения; выявляются участки концентрации ДТП; определяются характерные виды ДТП на участках их концентрации; разрабатываются эффективные управленческие решения и меры по повышению безопасности движения на участках концентрации ДТП.

Определение риска аварийности основано на установке факторов, способствующих возникновению аварийно-опасной ситуации. К исследуемым факторам риска относятся параметры состояния ТС и дорожной инфраструктуры, представленные ранее, и условия их эксплуатации (временной период, погодноклиматические и пространственные условия). Таким образом, чем больше исследовано, получено фактических значений, тем полнее и точнее результаты, определяемые риск возникновения аварийной ситуации, ДТП, а также результаты экспертизы.

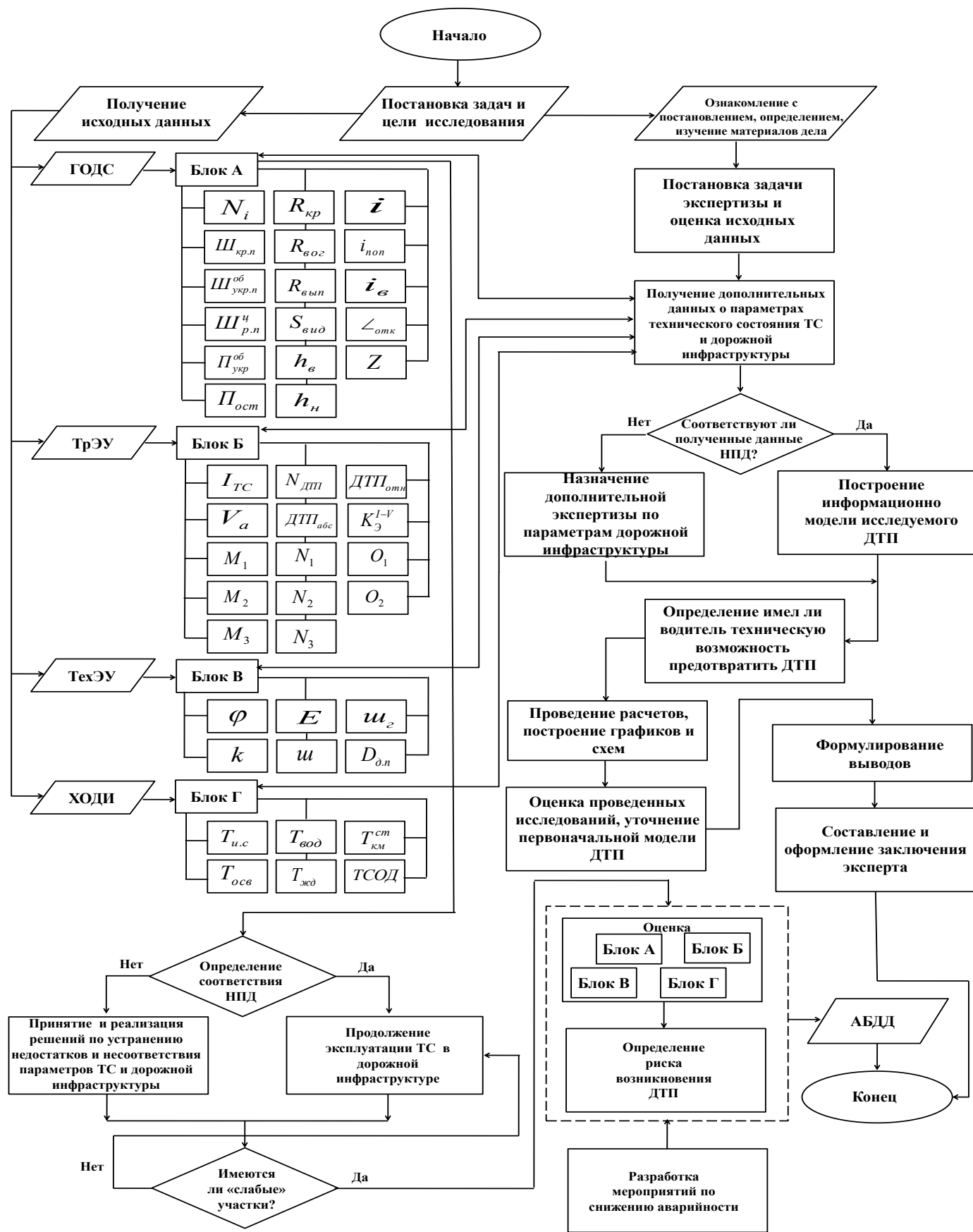


Рисунок 4. Алгоритм экспертного исследования неразрушающим методом

Автоматизированный банк дорожных данных (АБДД) в настоящее время существует в виде программных продуктов индивидуальных организаций, осуществляющих диагностику и оценку технико-эксплуатационных условий и параметров автомобильной дороги. Однако, в проанализированных источниках, отсутствуют участки, характеризующиеся аварийностью, низкой степенью качества состояния покрытия, слоев конструкции, жизненный цикл которого невелик в совокупности этих показателей, то есть «слабые». Внедрение данного понятия в практику позволит повысить информативность о состоянии дорожных данных, необходимых для проведения экспертных исследований.

Выводы

Для совершенствования системы учета параметров при строительстве автомобильных дорог предложено учитывать качественные и количественные характеристики транспортного потока, процессы торможения ТС, прочность дорожной одежды по модулю упругости, определение участков концентрации ДТП по их риску возникновения, а также и их влияние на прогнозирование степени аварийности. Анализ технических характеристик оборудования неразрушающего метода и технологических измерительных процессов при определении параметров подсистемы «Автомобиль – Дорога» позволил отдать предпочтение диагностической установке Dynatest FWD, обосновав выбор назначением, современностью и актуальностью его практического применения, безопасностью проведения технологических измерительных процессов, удобством, скоростью получения и обработки информации, высокой возможностью анализа всего спектра исследуемых параметров.

Для полноты решения поставленных задач предложены более емкие параметры состояния подсистемы «Автомобиль – Дорога» для возможности прогнозирования возникновения риска ДТП, в том числе на участках концентрации, а также повышения достоверности выводов и точности расчетов экспертных заключений.

Разработанная методика экспертного исследования неразрушающим методом позволяет вводом в исследование дополнительных и прежде не учитываемых факторов расширить число каналов обеспечения безопасности дорожного движения (БДД) и, следовательно, увеличить суммарный эффект повышения БДД.

Литература

Kurakina, E., Evtuykov, S. (2017). Methodology for the reconstruction and investigation of causes of accidents in the parameters of vehicle condition and road environment. *Transportation Research Procedia*, 20, с. 185-192. DOI: 10.1016/j.trpro.2017.01.049

Васильев, А.П. (2005). *Справочная энциклопедия дорожника. Строительство и реконструкция автомобильных дорог*, Том I. Москва: Информавтодор.

Домке, Э.Р. (2012). *Расследование и экспертиза дорожно-транспортных происшествий*. 2-е изд. Москва: Издательский центр «Академия», с.288.

Евтюков, С.А., Васильев, Я.В. (2012). *Дорожно-транспортные происшествия: расследование, реконструкция, экспертиза*. СПб: Издательство ДНК, с.392.

Иларионов, В.А. (1989). *Экспертиза дорожно-транспортных происшествий*. Москва: Транспорт, с.255.

Куракина, Е.В. (2013). Экспертная характеристика автомобильной дороги в дорожно-транспортной экспертизе. *Современные проблемы науки и образования*, 5. Электронный ресурс: <http://www.science-education.ru/111-r10273>. (дата обращения: 29.06.2017).

Куракина, Е.В. (2014). Исследование состояния безопасности и качества подсистемы. В: *Сборнике трудов международной научно-технической конференции «Строительная наука – 2014: теория, образование, практика, инновации»*, с 232–244.

Куракина, Е.В. (2014). *Научно-методическое обеспечение автотехнической экспертизы, учитывающей техническое состояние автомобиля и дорожной среды*. Дисс. на соиск. уч. степ. канд. техн. наук. Санкт-Петербург, с.203.

Куракина, Е.В. (2014). Об отклонении нормативных характеристик показателей автомобильной дороги (на примере аварийно-опасных участков дорог Ленинградской области). *Современные проблемы науки и образования*, 2, с.118.

Куракина, Е.В. (2016). Диагностическое исследование элементов автомобильных дорог на участках ДТП неразрушающим контролем. *Вестник гражданских инженеров*, 6 (59), с.231–237.

Куракина, Е.В. (2017). Совершенствование алгоритма дорожно-транспортного исследования неразрушающим методом. *Вестник гражданских инженеров*, 1 (60), с.262–269.

Куракина, Е.В., Добромиров, В.Н., Евтюков, С.С. (2017). Совершенствование методов оценки безопасности дорожного движения на скоростных автомобильных дорогах. *Мир транспорта и технологических машин*, 1 (56), с.94–101.

Куракина, Е.В., Евтюков, С.А. (2014). Совершенствование алгоритма автотехнической экспертизы при реконструкции ДТП, учитывающей техническое состояние транспортного средства и дороги. В: *Материалах 11-й международной конференции «Организация и безопасность дорожного движения в крупных городах»*, с.518–527.

Куракина, Е.В., Евтюков, С.С. (2015). Исследование сцепных характеристик дорожного покрытия при автотехнической экспертизе ДТП. *Вестник гражданских инженеров*, 5 (52), с. 216–223.

Куракина, Е.В., Евтюков, С.С., Голов, Е.В. (2017). *Реконструкция дорожно-транспортных происшествий*. Санкт-Петербург: Петрополис.

Немчинов, М.В. (1985). *Сцепные качества дорожных покрытий и безопасность движения автомобиля*. Москва: Транспорт, с.231.

РосдорНИИ (2015). *Рекомендации по учету и анализу дорожно-транспортных происшествий на автомобильных дорогах Российской Федерации. ОДМ 218.6.015-2015*.

Суворов, Ю.Б., Кикоть, И.М., Хапатнюковский, М.В., Коваленко, Л.А., Килиенко, И.И. (1990). *Диагностическое исследование элементов автомобильных дорог на участках дорожно – транспортных происшествий (дорожных условий), влияющих на безопасность дорожного движения*. Москва: Научно-исследовательский институт криминалистики, с.96.

РАСЧЕТ КАСАТЕЛЬНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ МОРОЗНОГО ПУЧЕНИЯ НА ОСНОВЕ ФИЗИЧЕСКИХ, МЕХАНИЧЕСКИХ И ДЕФОРМАЦИОННЫХ СВОЙСТВ МЕРЗЛОГО ГРУНТА

Ольга Третькова ¹

¹ Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Россия, 614990, г.Пермь, Комсомольский пр., д.29

¹ Olga_wsw@mail.ru

Аннотация

Освоение северных районов открывает новые возможности социально-экономического развития общества. Однако проектирование строительных объектов в таких районах осложнено особенностями сурового климата, одним из проявлений которого является морозное пучение грунтов. Нормальные силы пучения под подошвой фундамента могут быть нейтрализованы заглублением ниже границы сезонного промерзания. Тогда как на боковой поверхности фундаментов при этом будут действовать касательные напряжения пучения, вызывающие неравномерный подъем конструкций, что приводит к нарушению целостности сооружений. В нормативной и технической литературе касательные силы морозного пучения рекомендовано определять по обобщенным табличным данным или экспериментально, что не всегда представляется возможным. Требуется адекватная методика расчета касательных напряжений, учитывающая климатические и гидрогеологические условия строительной площадки.

В данной статье предпринята попытка раскрыть те стороны процесса возникновения и развития касательных напряжений пучения, которые позволяют выполнить их расчет. Для решения данной задачи проанализирован существующий исследовательский опыт, особенности криогенной структуры, механических и деформационных свойств мерзлого грунта. На основании анализа выявлена связь касательных напряжений морозного пучения с удельным сцеплением и влажностью мерзлого грунта.

Обозначена также точка зрения, что касательные напряжения пучения являются результатом максимальных сжимающих напряжений пучения, направленных по нормали к боковой поверхности фундамента, это позволило связать касательные напряжения пучения с модулем деформации мерзлого грунта. Базируясь на изложенных положениях, получены выражения для расчета касательных напряжений морозного пучения. Расчетный метод определения указанных напряжений обеспечит возможность проектирования экономических и безопасных сооружений в районах с суровым климатом.

Ключевые слова

Влажность, граничный слой, касательные напряжения, модуль деформации, морозное пучение, удельное сцепление грунта.

Введение

В холодных районах при сезонном понижении температуры воздуха происходит охлаждение и промерзание грунта, приводящее к увеличению его объема – морозному пучению. При ограничении расширения поверхностями фундаментов и заглубленных сооружений, в грунте возникают нормальные напряжения, которые вызывают развитие сил, касательных к этим поверхностям. На сегодняшний день касательные напряжения морозного пучения, действующие на заглубленные сооружения, определяются либо по обобщенным таблицам нормативных документов, либо экспериментально. Однако последнее не всегда возможно. Возникает вопрос о методике расчета напряжений для практического проектирования. Разработка метода расчета требует в первую очередь изучения механизма возникновения и развития указанных силовых факторов.

Согласно существующим представлениям касательные напряжения морозного пучения развиваются при смерзании и последующем взаимодействии грунта с материалом фундамента. Однако понимание неоднородности взаимодействующих сред, какими являются фундамент и грунт, требует развития этих представлений и возможно внесения дополнительных положений в толкование напряженно-деформированного состояния системы «фундамент – промерзающий грунт».

Теоретическими предпосылками данного исследования являются современные представления о криогенной структуре, механических и деформационных свойствах мерзлого грунта, а также существующие взгляды на стадийность развития касательных напряжений. Нагрузочным фактором служит увеличение объема грунта при промерзании, приводящее к формированию вокруг фундамента напряженной зоны. Эффектом воздействия расширяющегося при промерзании грунта в этой зоне являются нормальные напряжения, которые в свою очередь служат причиной напряжений и сил сдвига, направленных по касательной к боковой поверхности фундамента.

Поставлены задачи: определить, в каком слое напряженной зоны развиваются сдвигающие напряжения, приводящие к развитию касательных сил, этот расчетный слой будет определять качественную и количественную картину взаимодействия; выявить свойства взаимодействующих сред, позволяющие выполнить расчет касательных напряжений; установить связь величины напряжений с механическими и деформационными свойствами сред. Это позволит получить методику расчета напряжений.

Анализ состояния вопроса

В северных районах одним из проявлений сурового климата является опасный природный процесс морозного пучения грунтов. Под влиянием морозного пучения развиваются напряжения, нормальные и касательные к поверхностям фундаментов. Касательные напряжения вызывают неравномерный подъем конструкций, приводящий к нарушению целостности и авариям зданий и объектов инфраструктуры. Влияние касательных напряжений на конструкции отмечают в своих работах Б.И. Далматов (1954), В.Д. Карлов (1998), М.Ф. Киселев (1971), А.Л. Невзоров (2000), Р.Ш. Абжалимов (2006), D. Ladanyi (1998), J.P. Modisette (2014), T. Kibriya (2015). Учет влияния морозного пучения является необходимым условием проектирования безопасных зданий и сооружений. Анализ технической литературы (Руководство 1979, Свод Правил 25.13330.2012) показал, что в настоящее время общепринятая методика расчета касательных напряжений морозного пучения в нормативных документах отсутствует, что приводит к использованию при практическом проектировании рекомендуемых табличных значений или требует экспериментального определения напряжений. Однако табличные данные не позволяют учесть весь диапазон грунтовых и климатических условий, а также их возможные сочетания. Эти данные получены по результатам экспериментов, которые проведены для ограниченного количества грунтов. Экспериментальное определение касательных напряжений пучения на конкретном объекте не всегда представляется возможным по условиям сроков выполнения проектной документации и объемам финансирования. Экспериментальная оценка, предполагающая натурные или лабораторные исследования, увеличивает длительность проектирования и составляет дополнительную статью расходов изыскательских и проектных работ. Натурный эксперимент требует отрезка времени, соответствующего периоду отрицательных температур атмосферного воздуха, приборов для измерения касательных сил пучения, специального технического персонала. Способы измерения касательных напряжений пучения в полевых условиях отражены в работах Б.И. Далматова (1954), В.Д. Карлова (1998) Н.А. Толкачева (1964), Э.А. Марова (1974), Э.Д. Ершова (1986), А.Г Алексеева (2006), Н. Jiang (2015). Лабораторный эксперимент невозможен без соответствующего помещения, специального сертифицированного оборудования и научно-технического сопровождения. Методы лабораторного определения сил морозного пучения показаны в Руководстве (1973). Исследованием морозного пучения в лабораторных условиях, на моделях занимались Э.Д. Ершов (1985), V.R. Parmesvaran (1981), Thomas H. (2009), Y.-H. Hyang (2015), F. Ming (2015).

Возникает вопрос об эффективности экспериментального подхода, присущего больше научному исследованию, к прогнозированию касательных сил морозного пучения при практическом проектировании. Использование апробированной методики расчета касательных сил морозного пучения, основанной на фундаментальных исследованиях морозного пучения, позволит проектировать безопасные сооружения.

В России базовую теорию морозного пучения, включающую описание нормальных и касательных сил, разработали Н.А. Цытович (1973), Б.И. Далматов (1988), С.С. Вялов (1959). За рубежом физика морозного пучения представлена в работах R.L. Harlan (1973), J.-M. Konrad (1980), S.S.L. Peppin (2012). Определением величин касательных напряжений и сил морозного пучения занимались E. Penner (1974, 2010), S. Frankenstein (2002), K.W. Biggar (2011), S. Hiroshi (2011). Согласно существующим представлениям, формирование касательных сил определяется силами смерзания грунта с боковой поверхностью фундамента. Силы пучения, развивающиеся в окружающем массиве грунта, стремятся переместить фундамент вверх. При этом происходит сдвиг мерзлого грунта относительно фундамента. Статические связи смерзания грунта с фундаментом (прочность смерзания) нарушаются. Возникают динамические связи, определяемые сопротивлением смещению слоя мерзлого грунта относительно боковой поверхности фундамента – касательными силами пучения.

Величина касательных сил морозного пучения грунтов, по существующим исследованиям, близка к значениям устойчивых сил смерзания грунта с материалом фундамента. Это положение отражено Б.И. Далматовым (1988), Н.А. Цытовичем (1973), С.С. Вяловым (1959). Под силами смерзания понимается сопротивление сдвигу мерзлого грунта по боковой поверхности фундамента. Сила смерзания грунтов с

фундаментом соответствует общей силе, которую надо приложить к нему, чтобы нарушить связь с промерзшим вокруг грунтом. Таким образом, считается, что смещение мерзлого грунта относительно фундамента происходит между материалом фундамента и грунтом.

Сопротивление сдвигу мерзлого грунта является функцией основных переменных, которыми являются физические, теплофизические и механические свойства грунта, характеристики материала фундамента. Свойства мерзлого грунта обусловлены его сложной криогенной структурой, которая в свою очередь определяется температурой, скоростью промерзания, величиной внешней нагрузки и временем ее действия. Характеристики материала фундамента связаны с показателями шероховатости его поверхности. Перечисленные факторы говорят о неоднородности взаимодействующих при сдвиге сред. Тогда как для реализации сдвига непосредственно между материалом и мерзлым грунтом необходимо, чтобы эти обе среды были однородны. Все это создает предпосылки для развития существующих положений об определении касательных напряжений морозного пучения грунта.

Теоретические предпосылки исследования

Проведен анализ существующих работ, посвященных криогенной структуре, механическим и деформационным свойствам мерзлого грунта. Как указывает Н.А. Цытович (1973), промерзающий грунт представляет собой четырехкомпонентную систему, состоящую из частиц грунта, включений льда, незамерзшей пленочной воды и газообразных включений. Количество и фазовые состояния компонентов в сочетании с природными свойствами грунта определяют его неоднородную криогенную структуру. В этой структуре частицы грунта «объединены» льдом-цементом. Поверхности контакта частиц грунта и льда образуют многочисленные плоскости скалывания, что обеспечивает возможность хрупкого разрушения мерзлого грунта от скалывающих напряжений при его сдвиге.

Исследования величин касательных напряжений морозного пучения проводились Б.И. Далматовым, Ю.Д. Дубновым, Н.А. Цытовичем, С.С. Вяловым и другими авторами. Б.И. Далматовым установлена линейная зависимость устойчивого сопротивления смерзания от температуры (рисунок 1) и на основе этого получено выражение для удельной касательной силы пучения:

$$\tau^{heave} = \frac{h_{heave}}{h} (c + b t_{mean})$$

где c и b – параметры прямой, определяемые в лабораторных условиях и зависящие от вида грунта и его влажности, $c = 4 - 5 \text{ т/м}^2$; $b = 1 - 1,5 \text{ т/}^\circ\text{С}\cdot\text{м}^2$;

h_{heave} – толщина слоя, испытывающего пучение;

h – глубина промерзания, м;

t_{mean} – средняя температура грунта в пределах слоя h к моменту окончания его промерзания.

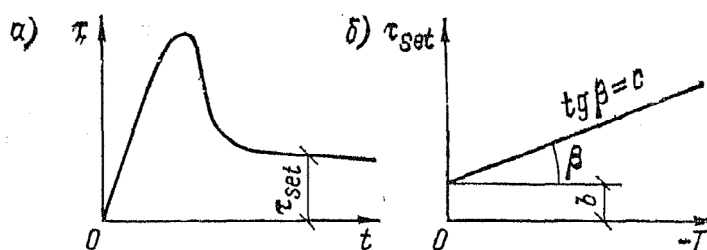


Рисунок 1. а) график зависимости сопротивления сдвигу от времени;
б) график зависимости устойчивого сопротивления смерзания от температуры грунта
(Б.И. Далматов, Ю.Д. Дубнов).

Неравномерность развития касательных напряжений во времени показана Н.А. Цытовичем (1973), С.С. Вяловым (1959), Б.И. Далматовым (1988), В.И. Пусковым (1993). Основываясь на современных представлениях о стадийности развития касательных напряжений, автором рассмотрена работа взаимодействующих сред. На первой стадии происходит сдвиг с отрывом массива грунта относительно тонкого граничного слоя этого грунта, находящегося на боковой поверхности сваи и смерзшегося с ней. Касательные скалывающие напряжения в этом случае имеют значительную величину, но небольшой период действия. Эти напряжения могут быть охарактеризованы как кратковременный, почти мгновенный сдвиг, происходящий при достижении временного сопротивления грунта срезу.

В этом случае определяющее значение имеет временная прочность на сдвиг частиц граничного слоя мерзлого грунта, связанного с поверхностью заглубленной конструкции и практически являющегося ее «частью». Условием возникновения касательных сдвигающих напряжений является преодоление: суммарного сцепления частиц мерзлого грунта, соответствующего временному сопротивлению грунта и льда срезу; нормального давления промерзающего грунта на боковой поверхности фундамента.

Период действия предельных (мгновенных) сдвигающих напряжений $\tau_{\text{мгн}}$, вызывающих скалывание с отрывом агрегатов грунта в граничном слое, сменяется периодом спада (релаксации напряжений), который продолжается вплоть до установления постоянной скорости сдвига грунта по боковой поверхности сваи при напряжениях, достигших величины туст. При этом наступает вторая стадия установившихся касательных напряжений туст., возникающих при равномерном смещении массива мерзлого грунта относительно граничного слоя. Смещение массива происходит за счет микросдвигов в граничном слое, в котором часть связей (наименее прочных) уже нарушена на стадии кратковременного сдвига. Касательные напряжения при этом имеют меньшее значение, но действуют практически весь период промерзания и определяют действительную картину развития касательных напряжений морозного пучения по боковой поверхности сваи. Это подтверждается исследованиями Б.И. Далматова (1958), Н.А. Цытовича (1973), С.С. Вялова (1959). График зависимости сопротивления сдвигу от времени Б.И. Далматова показан на рисунке 1б.

На второй стадии от $\tau_{\text{мгн}}$ до туст. при действии длительной нагрузки от сил морозного пучения происходит релаксация напряжений, преимущественно за счет снижения сил сцепления мерзлого грунта. Это явление было отражено в опытах С.С. Вялова (1959). Характерное изменение сцепления мерзлых грунтов во времени, составляющее преобладающую часть их сопротивления сдвигу, проиллюстрировано также в зависимостях Н.А. Цытовича (1963). Проведенные С.С. Вяловым (1959) и Н.А. Цытовичем (1973) исследования показали, что силы сцепления, – основная прочностная характеристика мерзлого грунта, – снижается при действии сдвиговых напряжений во времени, как правило, в пределах $1/3 \dots 1/5 c_{\text{мгн}}$. Для глин при длительном сдвиге имеет место также снижение угла внутреннего трения.

Методы расчета касательных напряжений морозного пучения грунта

Особенности криогенной структуры и механических свойств мерзлого грунта позволили предположить, что вызванные пучащимся грунтом напряжения сдвига, возникают не по границе «фундамент – промерзающий грунт», а в прилегающем к фундаменту пограничном промерзающем слое. Это положение обосновывается рассмотренными выше факторами, являющимися теоретическими предпосылками данного исследования: неоднородностью взаимодействующих сплошных сред – материала фундамента и промерзающего грунта; способностью мерзлого грунта к хрупкому разрушению.

Эффектом воздействия стесненного пучения вблизи боковой поверхности фундамента являются значительные усилия сжатия, приводящие к развитию напряжений сдвига, которые реализуются по многочисленным плоскостям скалывания, образующимся за счет разной сдвиговой прочности компонентов грунта в расчетном пограничном слое. Механические свойства льда рассмотрены в работе В.В. Богордского (1983). Результирующим фактором этих сдвиговых напряжений являются касательные силы. Для наступления сдвиговых деформаций необходимо нарушение связей между частицами и грунта и льда. Причем в любом элементарном фрагменте скалывание будет происходить между слоями льда или по границе ледяных и минеральных прослоек за счет меньшей сдвиговой прочности частиц грунта. В некотором приближении можно оценить распределение сдвиговых деформаций соответственно процентному соотношению грунта и льда. Это позволило установить связь величины касательных напряжений морозного пучения с влажностью грунта, поскольку количество ледяных включений в мерзлом грунте определяется, прежде всего, влажностью последнего; а также с удельным сцеплением частиц грунта и льда. На основании вышесказанного суммарное сцепление мерзлого глинистого грунта на первой стадии развития касательных напряжений, можно записать в виде:

$$c^{inst} = c_{soil}^{inst} \cdot (1 - 1.09 \cdot w) + c_{ice}^{inst} \cdot 1.09 \cdot w = c_{soil}^{inst} - 1.09 \cdot w \cdot c_{soil}^{inst} + c_{ice}^{inst} \cdot 1.09 \cdot w \quad (1)$$

После преобразований получено выражение:

$$c^{inst} = c_{soil}^{inst} - 1.09 \cdot w \cdot (c_{soil}^{inst} - c_{ice}^{inst}) \quad (2)$$

where c_{soil}^{inst} is soil specific cohesion, corresponding to the ultimate resistance, kPa;

c_{ice}^{inst} is ultimate ice resistance to shear, kPa;

w is soil moisture, unit fraction.

Как указывает Б.И. Далматов, напряжения сдвига, возникающие в связных глинистых грунтах вблизи боковой поверхности фундамента, составляют:

$$\tau = c + \sigma \cdot \operatorname{tg} \phi \quad (3)$$

где c – удельное сцепление;

σ – нормальное давление;

ϕ – угол внутреннего трения.

Предположено, что зависимость (3) может быть использована для определения сдвигающих касательных напряжений морозного пучения, развивающихся на боковой поверхности фундаментов, с использованием основных переменных выражения Б.И Далматова для удельной касательной силы пучения. Выражение Б.И. Далматова для удельной касательной силы пучения имеет вид:

$$\tau^{heave} = \frac{h_{heave}}{h} (c + b t_{mean})$$

где c и b – параметры прямой, определяемые в лабораторных условиях и зависящие от вида грунта и его влажности, $c = 4 - 5 \text{ т/м}^2$; $b = 1 - 1,5 \text{ т/}^{\circ}\text{С} \cdot \text{м}^2$;

h_{heave} – толщина слоя, испытывающего пучение;

h – глубина промерзания, м;

t_{mean} – средняя температура грунта в пределах слоя h_p к моменту окончания его промерзания.

Основными переменными являются: механические свойства грунта, влажность, температура мерзлого грунта, толщина промерзающего слоя к моменту окончания его промерзания.

Согласно вышесказанному касательные напряжения на первой стадии соответственно выражению (3) запишем:

$$\tau_{max}^I = c^{inst} + p_{mean} \cdot \operatorname{tg} \phi_1 \quad (4)$$

где c^{inst} – суммарное (мгновенное) сцепление частиц мерзлого грунта, соответствующее временному сопротивлению, кПа;

p_{mean} – среднее давление на боковой поверхности фундамента, контактирующего с мерзлым грунтом, кПа;

ϕ_1 – угол внутреннего трения грунта и льда.

Среднее давление на боковой поверхности фундамента имеет вид:

$$p_{mean} = \xi_i \cdot \gamma_i \cdot z_i \quad (5)$$

где ξ_i – коэффициент бокового давления грунта и льда;

$$\xi_i = \frac{\nu_i}{1 - \nu_i}$$

γ_i – объемный вес грунта и льда, кПа;

z_i – глубина (толщина) i -го слоя мерзлого грунта, м;

ν_i – коэффициент Пуассона для грунта и льда.

Подставляя в формулу (4) выражения (2) и (5), получим максимальное касательное напряжение морозного пучения в пределах граничного слоя на глубине z_i при заданной влажности грунта. Это мгновенное напряжение является временным сопротивлением мерзлого грунта сдвигу.

$$\begin{aligned} \tau_{max}^I = \tau_{inst}^I = & \left[c_{soil}^{inst} - 1.09 \cdot w \cdot (c_{soil}^{inst} - c_{ice}^{inst}) \right] + \xi_{soil} \cdot \gamma_i \cdot z_i \cdot \operatorname{tg} \phi_{soil} \cdot (1 - 1.09 \cdot w) + \\ & + \xi_{ice} \cdot \gamma_{ice} \cdot z_i \cdot \operatorname{tg} \phi_{ice} \cdot 1.09 \cdot w \end{aligned} \quad (6)$$

На второй стадии развиваются установившиеся касательные напряжения, которые являются наиболее достоверным показателем, чем кратковременные на первой стадии. Установившиеся напряжения характеризуются снижением сдвиговых напряжений за счет уменьшения удельного сцепления грунта и угла

внутреннего трения для связных грунтов, как указывают Н.А. Цытович (1973), С.С. Вялов (1959). Основываясь на этом, можно определить установившиеся напряжения из выражения (6), заменяя мгновенное сцепление грунта c^{ms} на его длительное значение c^{dn} .

$$\tau_{steady}^{II} = \left[c_{soil}^{con} - 1.09 \cdot w \cdot (c_{soil}^{con} - c_{ice}^{con}) \right] + \xi_{soil} \cdot \gamma_i \cdot z_i \cdot tg\phi_{soil} \cdot (1 - 1.09 \cdot w) + \xi_{ice} \cdot \gamma_{ice} \cdot z_i \cdot tg\phi_{ice} \cdot 1.09 \cdot w \quad (7)$$

Анализируя величину влажности « w » в формуле (7), заметим, что льдообразование в промерзающем грунте обусловлено суммарной влажностью, включающей поровую влагу в природном сложении грунта и влагу, поступающую в результате миграции.

$$w_{\Sigma} = w + w_{migr} \quad (8)$$

Подставим в выражение (7) вместо « w » суммарную влажность (8) и получим:

$$\tau_{steady}^{II} = \left[c_{soil}^{con} - 1.09 \cdot (w + w_{migr}) \cdot (c_{soil}^{con} - c_{ice}^{con}) \right] + \xi_{soil} \cdot \gamma_i \cdot z_i \cdot tg\phi_{soil} \cdot (1 - 1.09 \cdot (w + w_{migr})) + \xi_{ice} \cdot \gamma_{ice} \cdot z_i \cdot tg\phi_{ice} \cdot 1.09 \cdot (w + w_{migr}) \quad (9)$$

Долю миграционной влаги в промерзающем грунте определим, используя выражение для деформации пучения, предложенное А.Л. Невзоровым (2000). В данном выражении второе слагаемое связано с влагой, поступающей в промерзающую зону за счет сил миграции:

$$h_{heave} = 0.09 \cdot (w_{sat} - w_w) \cdot \frac{\rho_d}{\rho_w} \cdot z + 1.09 \cdot SP \cdot \tau \cdot grad t \quad (10)$$

Тогда влажность, формирующаяся за счет миграции воды к холодному фронту, из формулы (10) составит:

$$w_{migr} = \frac{SP \cdot \tau \cdot grad t}{z} \quad (11)$$

После подстановки (11) выражение (9) примет вид:

$$\tau_{steady}^{II} = \left[c_{soil}^{con} - 1.09 \cdot \left(w + \frac{SP \cdot \tau \cdot grad t}{z} \right) \cdot (c_{soil}^{con} - c_{ice}^{con}) \right] + \xi_{soil} \cdot \gamma_i \cdot z_i \cdot tg\phi_{soil} \cdot \left(1 - 1.09 \cdot \left(w + \frac{SP \cdot \tau \cdot grad t}{z} \right) \right) + \xi_{ice} \cdot \gamma_{ice} \cdot z_i \cdot tg\phi_{ice} \cdot 1.09 \cdot \left(w + \frac{SP \cdot \tau \cdot grad t}{z} \right) \quad (12)$$

где c_{soil}^{con} – удельное сцепление частиц грунта, кПа;

c_{ice}^{con} – удельное сцепление частиц льда, кПа;

w – природная влажность грунта, д. ед.

ϕ_{soil} , ϕ_{ice} – угол внутреннего трения грунта и льда соответственно;

ξ_{soil} , ξ_{ice} – коэффициент бокового давления грунта и льда соответственно;

γ_{soil} , γ_{ice} – объемный вес грунта и льда соответственно, кПа;

z – глубина промерзания грунта в вертикальном направлении; толщина слоя грунта в горизонтальном направлении, м;

SP – сегрегационный потенциал грунта, м²/час · град. С;

t – время промерзания, час;

$grad t$ – градиент температуры, °С/м.

Упростим запись выражения (12), заменяя c_{soil}^{con} и c_{ice}^{con} на величины c_{soil} и c_{ice} ; τ_{steady}^{II} на величину τ_{steady} получим выражение:

$$\begin{aligned} \tau = \tau_{steady} = & \left[c_{soil} - 1.09 \cdot \left(w + \frac{SP \cdot \tau \cdot grad t}{z} \right) \cdot (c_{soil} - c_{ice}) \right] + \\ & + \xi_{soil} \cdot \gamma_i \cdot z_i \cdot tg \phi_{soil} \cdot \left(1 - 1.09 \cdot \left(w + \frac{SP \cdot \tau \cdot grad t}{z} \right) \right) + \\ & + \xi_{ice} \cdot \gamma_{ice} \cdot z_i \cdot tg \phi_{ice} \cdot 1.09 \cdot \left(w + \frac{SP \cdot \tau \cdot grad t}{z} \right) \end{aligned} \quad (13)$$

Как было указано выше, основными переменными выражения Б.И. Далматова для удельной касательной силы пучения являются: механические свойства мерзлого грунта, влажность, температура мерзлого грунта к моменту окончания его промерзания, толщина промерзающего слоя. Подобно этому перечисленным, основными переменными выражения (13) служат: механические свойства мерзлого грунта; влажность; градиент температуры в пределах мерзлого слоя; время промерзания; сегрегационный потенциал грунта (характеризующийся скоростью пучения, скоростью миграции влаги, градиентом температуры); толщина промерзающего слоя.

Причиной возникновения касательных напряжений на боковой поверхности фундамента являются максимальные нормальные сжимающие напряжения, развивающиеся при ограничении расширения пучающегося грунта при его промерзании. Это положение использовано при получении *метода расчета касательных напряжений морозного пучения*.

Связь касательных напряжений с нормальными напряжениями морозного пучения установил В.И. Пусков (1973). В.И. Пусков отмечает, что «при отсутствии местной нагрузки на поверхности грунта в слое сезонного промерзания объемная деформация f полностью реализуется в направлении вертикальной оси и включает в себя, помимо f_z , деформации бокового пучения, трансформированные в направлении оси z возникающим боковым давлением σ_{fb} ».

В.Д. Карлов (1998) в докторской диссертации, приводя методы определения деформаций пучения, отмечал, что «Рассмотренные методы позволяют определять и величину удельных сил морозного пучения грунта в зависимости от степени стесненности деформаций пучения». А степень стесненности деформаций пучения обуславливает, в свою очередь, нормальные напряжения морозного пучения, что можно проследить в работах многих авторов. Так, по мнению Н.А. Цытовича (1973) «Порядок максимальной величины нормальных сил морозного пучения можно оценить исходя из величин давлений, которые развивают кристаллы льда при стесненном замерзании воды». По мнению Э.Д. Ершова «Напряжения в промерзающих породах обусловлены недопущением деформаций пучения». Таким образом, опыт существующих исследований позволил выразить касательные напряжения морозного пучения с использованием закона Кулона, в зависимости от горизонтальных нормальных напряжений морозного пучения σ_x :

$$\tau = \sigma_x \cdot tg \phi \quad (14)$$

где σ_x – напряжение морозного пучения, нормальное к боковой поверхности фундамента согласно выражению, полученному автором (2016);

ϕ – угол внутреннего трения мерзлого грунта или льда.

Формула для горизонтальных напряжений морозного пучения σ_x получена автором (2016) с учетом свойств мерзлого грунта, глубины (толщины) промерзающего слоя, условий промерзания:

$$\sigma_x = \sigma_{heave} = 1.09 \cdot SP \cdot \tau \cdot grad t \cdot \frac{E_M}{z} \cdot \left[1 - e \cdot \left(1 - w_w \cdot \frac{\rho_d}{\rho_w} - 1.09 \cdot w \cdot \frac{\rho_d}{\rho_w} \right) \right] \cdot k_{an} \quad (15)$$

где E_M – модуль деформации мерзлого грунта;
 w – природная влажность грунта;
 w_w – влажность по незамерзшей воде;
 e – коэффициент пористости грунта;
 z – глубина промерзания грунта в вертикальном направлении; толщина слоя грунта в горизонтальном направлении;

SP – сегрегационный потенциал грунта;

t – время промерзания;

$grad\ t$ – градиент температуры;

ρ_d – плотность сухого грунта;

ρ_w – плотность свободной воды;

ρ_d / ρ_w – коэффициент пересчета массовой влажности в объемную;

k_{an} – коэффициент анизотропии мерзлого грунта, учитывающий направление промерзания и напряжений морозного пучения.

Тогда выражение (14) для касательных напряжений морозного пучения примет вид:

$$\tau = \left\{ 1.09 \cdot SP \cdot \tau \cdot grad\ t \cdot \frac{E_M}{z} \cdot \left[1 - e \cdot \left(1 - w_w \cdot \frac{\rho_d}{\rho_w} - 1.09 \cdot w \cdot \frac{\rho_d}{\rho_w} \right) \right] \cdot k_{an} \right\} \cdot tg\varphi \quad (16)$$

Влажность грунта за счет незамерзшей воды определяется как функция влажности на границе пластичности согласно указаниям [СП 25.13330.2012], д. ед.:

$$W_w = K_w \cdot W_p$$

где K_w - коэффициент, принимаемый по таблице Б.3 [СП 25.13330.2012] в зависимости от числа пластичности и температуры грунта;

W_p – влажность грунта на границе пластичности (раскатывания).

Kujala установил, что сегрегационный потенциал SP (мм²/час · °C) находится в корреляционной зависимости от скорости пучения h_v (мм/сут.) :

$$SP = 1,1 \cdot v_h = mm^2 / hour \cdot ^\circ C$$

где v_h – скорость пучения, мм/сут.

Средний градиент температуры для слоя z вычисляется как отношение среднезимней температуры к $0,5z$.

$$grad\ t = \frac{t_{bf} - t_s}{0,5 \cdot z} \approx \frac{t_s}{0,5 \cdot z} cm$$

где t_{bf} – температура начала замерзания ;

t_s – среднезимняя температура;

z – толщина каймы промерзания (промерзающего слоя).

Время промерзания составляет:

$$\tau = \frac{z}{v_n}$$

где v_n – скорость промерзания грунта.

Формула (15) после подстановки значений:

$$\sigma_x = 1.09 \cdot 1,1 v_h \cdot \frac{z}{v_n} \cdot \frac{t}{0,5z} \cdot \frac{E_M}{z} \cdot \left[1 - e \cdot \left(1 - w_w \cdot \frac{\rho_d}{\rho_w} - 1.09 \cdot w \cdot \frac{\rho_d}{\rho_w} \right) \right] \cdot k_{an} \quad (17)$$

После преобразований получим:

$$\sigma_x = 2.4(m/^{\circ}C) \cdot \frac{v_h}{v_n} \cdot \frac{t \cdot E_M}{z} \cdot \left[1 - e \cdot \left(1 - w_w \cdot \frac{\rho_d}{\rho_w} - 1.09 \cdot w \cdot \frac{\rho_d}{\rho_w} \right) \right] \cdot k_{an} \quad (18)$$

Тогда выражение (16) примет вид:

$$\tau = 2.4(m/^{\circ}C) \cdot \frac{v_h}{v_n} \cdot \frac{t \cdot E_M}{z} \cdot \left[1 - e \cdot \left(1 - w_w \cdot \frac{\rho_d}{\rho_w} - 1.09 \cdot w \cdot \frac{\rho_d}{\rho_w} \right) \right] \cdot k_{an} \cdot \operatorname{tg} \phi \quad (19)$$

Представляет сложность определение модуля деформации мерзлого грунта. В нормативных документах рекомендуется определять этот параметр опытным путем. Согласно рекомендаций «Руководства по определению физических, теплофизических и механических свойств мерзлых грунтов» (1973) модуль деформации является величиной, обратной сжимаемости. Сжимаемость, в свою очередь, определяется в зависимости от объемной массы ρ и влажности грунта w .

Тогда в качестве параметров, определяющих величину касательных напряжений в формуле (19), могут быть приняты следующие основные физические величины:

$$f(w, t, z, v_h, v_n, \rho, \operatorname{tg} \phi) = 0 \quad (20)$$

Выражение (20) дает возможность определить критерии подобия касательных напряжений на основе методов применения теории подобия и теории размерностей в механике мерзлых грунтов, которые привели в своих работах Б.И. Далматов, В.Д. Карлов, О.Р. Голли, Е.С. Ашпиз.

Результаты

С использованием выражений (13), (16) выполнены примеры расчета касательных напряжений пучения, действующих на боковой поверхности фундамента в глинистом грунте. Несмотря на некоторую схематизацию, формулы дают удовлетворительные результаты, показанные в таблице 1. Сравнение напряжений, рассчитанных по формулам (13) и (16), со значениями, полученными некоторыми другими авторами, отражено в таблице 2.

Таблица 1. Результаты расчета касательных напряжений морозного пучения

Номер формулы	Расчетная формула	Значение касательных напряжений, кН/м ²
13	$\tau = \left[c_{soil} - 1.09 \cdot \left(w + \frac{SP \cdot \tau \cdot \operatorname{grad} t}{z} \right) \cdot (c_{soil} - c_{ice}) \right] +$ $+ \xi_{soil} \cdot \gamma_i \cdot z_i \cdot \operatorname{tg} \phi_{soil} \cdot \left(1 - 1.09 \cdot \left(w + \frac{SP \cdot \tau \cdot \operatorname{grad} t}{z} \right) \right) +$ $+ \xi_{ice} \cdot \gamma_{ice} \cdot z_i \cdot \operatorname{tg} \phi_{ice} \cdot 1.09 \cdot \left(w + \frac{SP \cdot \tau \cdot \operatorname{grad} t}{z} \right)$	152,7
16	$\tau = 2.4(m/^{\circ}C) \cdot \frac{v_h}{v_n} \cdot \frac{t \cdot E_M}{z} \cdot \left[1 - e \cdot \left(1 - w_w \cdot \frac{\rho_d}{\rho_w} - 1.09 \cdot w \cdot \frac{\rho_d}{\rho_w} \right) \right] \cdot k_{an} \cdot \operatorname{tg} \phi$	79

Таблица 2. Сравнение касательных напряжений морозного пучения

Автор исследования	Вид исследования	Глубина промерзания, м	Касательное напряжение пучения, кН/м ²	Среднее касательное напряжение пучения, кН/м ²
О.В. Третьякова (2017)	Расчет	1,0	79 – 152,7	115,9
Н.А. Цытович (1973)	Полевые исследования	0 – 0,5	270 – 300	142 – 155
		0 – 1,0	140 – 160	
		0 – 1,5	120 – 135	
		0 – 2,5	100	
		0 – 3,5 и >	80	
Р.Ш. Абжалимов (2006)	Полевые исследования	120	-	120
D. Ladanyi, Foriero A. рисунок 2 (1998)	Полевые исследования	1,12	60 – 160	120

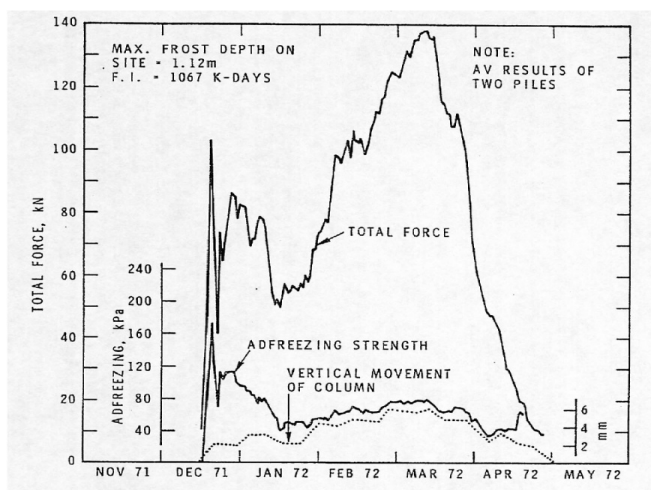


Рисунок 2. Ottawa site. Total uplift force and average uplift stress for a 12,75 in (0,324 m) diameter steel pile embedded in Leda clay at a depth of 5 ft (1,5 m). (After Penner, 1974)

Заключение

Для повышения эффективности проектирования заглубленных конструкций в холодных районах требуется методика расчета касательных напряжений морозного пучения грунта.

На основе современных представлений о криогенной структуре, механических и деформационных свойствах мерзлого грунта установлена связь касательных напряжений морозного пучения с влажностью и удельным сцеплением частиц мерзлого грунта. Базируясь на этом, получено выражение для касательных напряжений морозного пучения (14).

Причиной возникновения касательных напряжений являются сжимающие напряжения пучения, нормальные к боковой поверхности фундамента и приводящие к сдвигу грунта. Предложено выражение (16) для касательных напряжений, как функции указанного нормального давления. Последнее получено автором (2016) на основе физических и деформационных свойств мерзлого грунта, условий промерзания, закономерностей миграции влаги.

Значения, вычисленные по формулам (13) и (16), не противоречат данным других исследователей.

Обсуждение

На сегодняшний день остаются дискуссионными вопросы неравномерности распределения касательных напряжений по глубине и непостоянство их значений во времени.

Исследования модулей деформации мерзлого грунта помогут учесть неравномерность касательных напряжений по глубине. Эти показатели могут быть определены в лабораторных условиях. Прочностными и деформационными свойствами мерзлых грунтов в России занимались Л.Т. Роман (2016), Р.Ш. Абжалимов

(2009, 2011) и другие авторы. За рубежом эти вопросы проанализированы в работах T.F. Azmatch (2011), K.W. Biggar (2011) и других. Проведенные исследования полезны для повышения применимости полученных автором расчетных формул.

Важную роль в развитии расчетной методики играют реологические свойства грунта, определяющие неравномерность касательных напряжений во времени. Длительная прочность грунта более актуальна для оценки пригодности безопасности сооружений на весь срок эксплуатации, нежели кратковременный предел прочности, полученный при испытаниях. Это направление является полем для дальнейших исследований.

Литература

Azmatch, T.F, Segoo, D.C, Arenson, L.U, Biggar, K.W. (2011). Tensile strength and stress-strain behaviour of Devon silt under frozen fringe conditions. *Gold Regions Science and Technology*, 68(1–2), pp. 85–90. DOI: 10.1016/j.coldregions.2011.05.002

Biggar, K.W. Segoo, D. (2011). The strength and deformation behaviour of model adfreeze and grouted piles in saline frozen soils. *Canadian Geotechnical Journal*, 30(2), pp. 319–337. DOI: 10.1139/t93-027

Frankenstein, S., Tuthill, A.M., (2002). Ice Adhesion to Locks and Dams: Past Work; Future Directions. *Journal of Cold Regions Engineering*, 16 (2). DOI: 10.1061/(ASCE)0887-381X(2002)16:2(83)

Harlan, R. L. (1973). Analysis of coupled heat-fluid transport in frozen soil. *Water Resources Research*, 5, pp. 1314–1323. DOI: 10.1029/WR009i005p01314

Hiroshi, S. (2011). Mechanical properties between ice and various materials used in hydraulic structures. *Int. Journal for. Off-shore and Polar Engg*, 21 (2), pp. 81–90.

Hyang, Y.–H., Cai, Z.–Y., Zhang, C. (2015). Development of centrifugal model test facility for frost heave of channels. Yantu Gongcheng Huebao. *Chinese Journal of Geotechnical Engineering*, 37(4). pp. 615–621.

Jiang, H., Tian, Y. (2015). Test for frost heaving damage mechanism of rigid – soften composite trapezoidal canal in seasonally frozen ground region. *Nongye Gongcheng Xyebao/Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 31(16), pp. 145–151.

Kibriya, T., Tahir, L. (2015). Adfreeze forces on Lightly Loaded Pile foundations of Solar PV Farms in Gold Regions. *American Journal of Civil Engineering and Architecture*, 3 (4), pp. 109–117.

Konrad, J.- M. (1980). *Frost heave mechanics*. PhD Thesis. University of Alberta, Edmonton, p. 472.

Konrad, J.- M., Morgenstern, N. R. (1980). A mechanistic theory of ice lens formation in fine-grained soils. *Canadian Geotechnical Journal*, 17(4), pp. 473–486. DOI: 10.1139/t80-056

Ladanyi, D., Foriero, A. (1998). Evolution of frost heaving stresses acting on a pile. In: *Proceedings of Seventh International Conference Permafrost*. Yellowknife (Canada), Collection Nordicana, 55, pp. 623–633.

Ming, F., Li, D.-Q. (2015). Experimental and theoretical investigations on frost heave in porous media. *Mathematical Problems in Engineering*, ID 198986, pp. 1–9. DOI: 10.1155/2015/198986

Modisette, J. P., Modisette, J. L. (2014). *Pipe Line Frost Heave*. Pipeline Simulation Interest Group, 1421, pp. 1–8. Available at: https://www.atmosi.com/media/1419/1421-pipeline-frost-heave-or-the-lack-thereof-atmos_psig.pdf (viewed on: 11.02.2017).

Parmesvaran, V.R. (1981). Adfreeze strength of model piles in ice. *Canadian Geotech. Journal*, 18, pp. 8–16. DOI: 10.1139/t81-002

Penner, E. (1974). Uplift Forces on foundations in frost heaving soils. *Canadian Geotechnical Journal*, 11(3), p.323–338. DOI: 10.1139/t74-034

Penner, E. (2010). *Frost-heave uplift forces on foundation*. Available at: https://www.researchgate.net/publication/44047087_Frost-heave_uplift_forces_on_foundations (viewed on: 02.06.2017).

Peppin, S.S.L., Style, R.W. (2012). *The physics of frost heave and ice-lens growth*. Available at: <http://eprints.maths.ox.ac.uk/1536/1/finalOR35.pdf> (viewed on: 02.07.2017).

Thomas, H., Cleall, P., Li, Y.C., Harris, C., Kern-Luetschg, M. (2009). Modelling of cryogenic processes in permafrost and seasonally frozen soils. *Geotechnique*, 59(3), pp. 173–184. DOI: 10.1680/geot.2009.59.3.173

Абжалимов, Р.Ш. (2006). Определение величины выпучивания грунта вокруг свай, самих свай и свайных ростверков, усилий в них на пучинистых грунтах. *Развитие городов и гидротехническое строительство*, 10, с.214–221.

Абжалимов, Р.Ш. (2009). Принципы расчета малоэтажных зданий и подземных сооружений на пучинистых грунтовых основаниях. *Геотехника*, 1. с.25–33.

Абжалимов, Р.Ш. (2011). *Закономерности взаимодействия пучинистого грунтового основания с фундаментами малоэтажных зданий и подземными сооружениями и методы их расчета*. Авторефер. дис. д-ра тех. наук. Москва: Мос. гос. ун-т. путей сообщения, с.47.

- Алексеев, А. Г. (2006). *Определение горизонтального давления грунта на подпорные стены при сезонном промерзании-оттаивании*. Дис. к-та тех. наук. Москва: ОАО «ПНИИИС», с.190.
- Ашпиз, Е.С. (1984). Условия подобия процессов промерзания и пучения грунтов при физическом моделировании. В: *Межвуз. сб. науч. тр. «Земляное полотно и геотехника на железнодорожном транспорте»*. Днепропетровск: Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта, с.39.
- Богородский, В.В., Гаврило, В.П., Недошивин, О.А. (1983). *Разрушение льда. Методы, технические средства*. Ленинград: Гидрометеиздат, с.232.
- Вялов, С.С. (1959). *Реологические свойства мерзлых грунтов*. Москва: Изд-во АН СССР, с.191.
- Голли, О.Р. (2000). *Интегральные закономерности морозного пучения грунтов и их использование при решении инженерных задач в строительстве*. Автореф. на соиск. уч. степ. докт. техн. наук. Санкт-Петербург: ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева, с.45.
- Далматов, Б.И. (1954). *Исследования касательных сил пучения и влияния их на фундаменты сооружений*. АН СССР: Институт мерзлотоведения, с.29.
- Далматов, Б.И. (1958). *Условия моделирования процесса пучения водонасыщенного грунта*. Ленинград: ЛИСИ, с.127–133.
- Далматов, Б.И. (1988). *Механика грунтов, основания и фундаменты (включая специальный курс инженерной геологии)*. 2-е изд. перераб. и доп. Ленинград: Стройиздат, с.415.
- Ершов, Э.Д. (1985). *Деформации и напряжения в промерзающих и оттаивающих породах*. Москва: Изд-во Моск. ун-та. с.167.
- Ершов, Э.Д., Гордеева, Г.И. (1986). *Полевые методы геокриологических исследований*. Москва: Изд-во Моск. ун-та, с.143.
- Карлов, В.Д. (1998). *Сезонно промерзающие грунты как основания сооружений*. Дс. д-ра тех. наук. Санкт-Петербург: СПбГАСУ, с.349.
- Киселев, М.Ф. (1971). *Мероприятия против деформаций зданий и сооружений от действия сил морозного выпучивания фундаментов*. Москва: Стройиздат, с.104.
- Маров, Э.А. (1974). Определение нормальных и касательных сил морозного пучения в полевых условиях. В: *Сб. науч. тр. Фундаментпроект вып. 14 (Материалы по проектированию сложных фундаментов и оснований и по производству изысканий)*. Москва: Фундаментпроект, с. 40–49.
- Невзоров, А.Л. (2000). *Фундаменты на сезоннопромерзающих грунтах*. Москва: Изд.- во АСВ, с.152.
- Пусков, В.И. (1973). *Силовые воздействия морозного пучения грунтов на фундаменты сооружений и методы их расчета*. Автореф. дис. д-ра тех. наук. Новосибирск: Сибирская Государственная академия путей сообщения, с.37.
- Роман, Л.Т., Котов, П.И. (2016). Модуль деформации мерзлых грунтов при компрессионных испытаниях. *Основания, фундаменты и механика грунтов*, 5. с.35–40.
- Толкачев, Н.А. (1964). Определение относительных нормальных сил морозного пучения грунтов. В: *сборнике научных трудов НИИ оснований и подземных сооружений, 54 (Основания и фундаменты)*. Москва: Стройиздат, с.165–170.
- Третьякова, О.В. (2016). Величины нормальных напряжений морозного пучения, развивающихся в глинистых грунтах. *Транспорт. Транспортные сооружения. Экология*, 1, с.125–141.
- Цытович, Н.А. (1963). *Механика мерзлых грунтов*. Москва: Высшая школа, с.636.

ПРИАЭРОПОРТОВЫЕ ТЕРРИТОРИИ – ЗАДАЧИ КОМПЛЕКСНОГО ОСВОЕНИЯ (НА ПРИМЕРЕ АЭРОПОРТА ПУЛКОВО)

Михаил Виленский ¹, Ксения Веретенникова ²

^{1,2} Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, Россия, 190005, г. Санкт-Петербург, 2-ая Красноармейская ул., д. 4

¹ vilenm@list.ru

Аннотация

Данная статья затрагивает актуальный вопрос, связанный с общемировой тенденцией к освоению территорий вокруг аэропортов. Рассмотрены направления развития аэропорта Пулково и прилегающих к нему территорий в Санкт-Петербурге и Ленинградской области. Выявлены основные виды деятельности, концентрирующиеся в зонах аэропортов, и определены факторы, которые обуславливают их притяжение к данным зонам. Раскрыто и введено понятие приаэропортовой территории.

Исследование определяет градостроительные и экономические факторы, позволяющие осуществлять хозяйственное регулирование в приаэропортовых зонах и их влияние на пространственное развитие таких территорий. В статье дана оценка изменения стоимости земли в приаэропортовой зоне Пулково за время её коммерческого освоения и приведен анализ факторов, формирующих эту стоимость.

Выявлен ряд проблем территорий, находящихся под влиянием аэропорта Пулково. Опираясь на результаты анализа мирового опыта, авторы отмечают, что освоение территорий, расположенных в зоне влияния аэропорта Пулково, должно происходить в соответствии с единой концепцией градостроительного планирования, не зависящей от административной принадлежности территории и учитывающей долгосрочные стратегические задачи и инструменты эффективного управления.

Ключевые слова

Аэропорт, Пулково, приаэропортовая территория, аэрополис, стратегия, зоны развития аэропорта.

Введение

Современное состояние преобразования периферийных территорий в зоне аэропорта Пулково в границах Санкт-Петербурга и Ленинградской области указывает на необходимость формирования стратегии пространственного развития, способной обеспечить интеграцию аэропорта и сформировавшейся вокруг него застройки с новой будущей застройкой и природными территориями по устойчивой модели комплексного развития и с обеспечением необходимых общественных приоритетов.

Ситуация с освоением территорий вокруг аэропорта приводит к тому, что формирующиеся новые зоны экстенсивного градостроительного освоения, не превращаются в целостную и устойчивую градостроительную систему, а становятся диссонирующими городскими фрагментами застройки ввиду недостаточного внимания к роли комплексного развития и интеграции всех территорий в зоне аэропорта с учетом сохранения природного каркаса.

Отсутствие понимания необходимости формирования единой социально-экономической стратегии развития территории в зоне влияния аэропорта Пулково, а также вытекающее из этого отсутствие единой стратегии пространственного развития и единой градостроительной документации, приводит к неизбежной фрагментарной разнофункциональной и разномасштабной застройке с отсутствием внутренних связей между отдельными территориями, наличием конфликтных зон связанных с взаимными ограничениями, с вытеснением природных составляющих и появлением белых пятен, в рамках зон ограничений связанных с деятельностью аэропорта.

В решении многих из вышеупомянутых проблем в пространственном развитии периферийных территорий в зоне аэропорта Пулково в границах Санкт-Петербурга и Ленинградской области современные теоретические модели пространственного развития зон вокруг аэропортов и практика их применения могут стать основой для выявления альтернативных подходов.

Рассматривая примеры пространственного развития территорий в зонах аэропортов городов мира, видно насколько включенность и интегрированность этих территорий в структуру городской агломерации и внутригородскую ткань меняет качество среды в сторону интересов города и человека, позволяет эффективно

использовать ресурсы и особенности такого типа территорий. Основной целью данного исследования является определение направления развития территорий в зоне аэропорта Пулково в Санкт-Петербурге и Ленинградской области. Аэропорт Пулково имеет статус международного и является единственным действующим гражданским аэропортом в Санкт-Петербурге и Петербургской агломерации. Вопросы, касающиеся преобразования территории вокруг аэропорта Пулково, стоят сегодня крайне остро, так как последние пятнадцать лет ведется активное освоение этих территорий, столкнувшееся с целым рядом до сих пор не решенных проблем и отчасти спровоцировавшее их появление.

Следуя ценности территорий, преобразуемых и планируемых к преобразованию в настоящее время вокруг аэропорта, есть шанс изменить ситуацию в городе. Еще не обустроенные обширные пространства могли бы стать связующими зонами и составить части крайне востребованной инфраструктуры, в том числе транспортной и зеленой, обеспечивая устойчивое развитие территорий в зоне аэропорта.

Предмет, задачи и методы исследования

Современный этап эволюции транспортной инфраструктуры начался в середине XIX века и продолжился в XX веке, проходя активные стадии с развитием различных видов транспорта. В XXI веке аэропорты становятся одним из ключевых объектов транспортной инфраструктуры, так как именно этот вид транспорта наиболее эффективно отвечает мобильности населения. В настоящее время аэропорты перестают быть исключительно инфраструктурными объектами, «становясь неотъемлемой частью городского ландшафта» (Donnet and Keast, 2010), превращаются в более сложные пространственные комплексы. Они эволюционировали из «автономных объектов на периферии городов» (Thierstein and Conventz, 2014) в интермодальные пересадочные узлы, обладающие потенциалом к концентрации экономической, инвестиционной, градостроительной активностей.

«Аэропорты в настоящее время испытывают значительное развитие в сфере бизнеса, помимо своих первичных авиационных услуг, они развивают значительное количество неавиационных услуг и получают значительную долю доходов от неавиационного производства». Постепенная коммерциализация аэропорта объясняется влиянием процессов глобализации и либерализации (появление низкобюджетных перевозчиков, появление сетей «ступица-спица», создание глобальных альянсов авиакомпаний), вследствие чего аэропорты были вынуждены диверсифицировать источники доходов, что дало толчок к развитию бизнеса и сферы услуг в непосредственной близости от аэропорта (Kasarda, 2012; Marcos, 2015).

В Санкт-Петербурге имеется только один действующий гражданский аэропорт Пулково в котором в 2013 году завершилось строительство нового терминала. По данным компании-оператора аэропорта Пулково «Воздушные Ворота Северной Столицы» в 2015 году пассажиропоток составил 13.4 млн. пассажиров; к 2025 году запланировано увеличение пассажиропотока до 22 млн. пассажиров в год (<http://www.pulkovoirport.ru/about/history>).

Для городов, подобных Санкт-Петербургу, имеющего на своей периферии крупный аэропорт с отсутствием единой стратегии развития зоны вокруг аэропорта, а также очень низкий уровень градостроительной освоенности, связанности территории в данной зоне и экологически проблемную ситуацию совершенно очевидна необходимость поиска оптимальной модели преобразования территорий в зоне аэропорта. Эффективность использования территорий в зоне вокруг аэропорта в рамках поиска компромисса между интересами девелоперов и интересами городского сообщества для Санкт-Петербурга обретает особое значение.

Предметом настоящего исследования являются процессы преобразования территорий вокруг аэропорта Пулково. Объектом исследования является территория вокруг аэропортов. В российском законодательстве имеется целый ряд зон, которые выделяются вокруг аэропортов. Например, понятие "приаэродромная территория" (введенное Федеральными правилами использования воздушного пространства РФ, утвержденными постановлением Правительства Российской Федерации от 11 марта 2010 г. N 138) – прилегающий к аэродрому участок земной или водной поверхности, в пределах которого (в целях обеспечения безопасности полетов и исключения вредного воздействия на здоровье людей и деятельность организаций) устанавливается зона с особыми условиями использования территории. Есть понятия зоны полос воздушных подходов, санитарно-защитной зоны аэропорта, зоны санитарных разрывов аэропорта, зоны запрета строительства жилья и еще ряд иных зон. Однако все эти зоны являются только зонами ограничений от аэропорта и не определяют такую территорию, в границах которой осуществляется его влияние на экономические процессы и соответственно на пространственное и функциональное развитие. В то же время такая территория формируется вокруг всех крупных аэропортов. Ее особенностью может являться как особый правовой порядок регулирования, ориентированный на развитие такой зоны, так и самозарождающиеся процессы, и различные возможные сочетания. Например, в США и ряде других стран такая зона регулирования определяется как зона развития аэропортов (Airport Development Zone - ADZ).

Зоны развития аэропорта (ADZ) - это специальные налоговые районы, которые предоставляют льготы налогоплательщикам для экономических проектов в особо выделенной зоне аэропорта. По сути, это некоторое

подобие Особых экономических зон в Российской Федерации. Во многих странах есть схожие определения для таких выделенных зон. Однако в случае, когда речь идет о территориях, на которых процессы экономического развития связаны с деятельностью аэропорта, но развитие может осуществляться как с выделением особых экономических зон, так и без специально регулируемых налоговых или иных условий – необходимо введение отдельного понятия. В контексте данного исследования применяется понятие «приаэропортовой территории», которую можно определить как «территорию вокруг аэропорта, связанную с ним не только соседствующим расположением, но и находящуюся под его экономическим, транспортным и «имиджевым» влиянием». Это определение значительно расширяет границы зоны – ADZ и позволяет перейти впоследствии к определению градостроительных характеристик данной территории при ее установлении (Schlaack, 2010).

Задачами исследования являются определение факторов и условий, влияющих на преобразование приаэропортовых территорий и соответственно на формирование границ таких территорий и использование градостроительно-правовых инструментов их регулирования. Применены различные методы системного пространственного анализа территории, метод оценки земельного банка, ряд иных методов. Авторами для анализа проблематики и определения путей преобразования приаэропортовых территорий были использованы материалы реализованных и осуществленных работ, в том числе выполненных с их непосредственным участием, а также разработанных концептуальных предложений по развитию территории в зоне аэропорта Пулково, выполненные в течение последних десяти лет.

Самым существенным градостроительным фактором, позволяющим осуществлять регулирование в подобной зоне, является фактор установления пространственной границы такой территории. Однако границы ее могут в значительной степени меняться с учетом времени, темпов развития территории и режимов ее регулирования. Что же определяет границы такой территории? Ключевые факторы – это экономическая привлекательность территории, технические ограничения аэропорта и сбалансированная устойчивость пространственного развития с учетом природного каркаса территории.

Рассмотрим, как эти факторы освоения территорий влияют на пространственное развитие приаэропортовых территорий и насколько это положение применимо к Санкт-Петербургу.

Обратимся к исследованию, выполненному урбанистами голландско-швейцарской компании Güller Güller, возглавляемой Матисом Галлером и Майклом Галлером в 2001 году (Güller M. и Güller M.), которыми были предложены три категории экономической деятельности по особенностям связанности её с аэропортом:

- авиационные виды деятельности, являющиеся частью технической эксплуатации аэропорта;
- деятельность, завязанная непосредственно на грузовых и пассажирских потоках (логистика, розничная торговля, отели);
- деятельность, выбирающая зону аэропорта ввиду его имиджа, сравнительно низких цен на землю и хорошей обеспеченностью инфраструктурой (Güller and Güller, 2001).

Если первые два вида деятельности стали уже достаточно привычными и неотделимыми от аэропорта, то признание существования третьего и понимание необходимости его регулирования в России на данный момент отсутствует.

Какие же виды деятельности формируются в зонах аэропортов и что их притягивает? Проведенный анализ приаэропортовых территорий Европы, США и России и Китая показывает, что такая территория обладает высокой степенью функционального разнообразия. Она может включать в себя логистические парки и распределительные центры, бизнес-технологические парки, промышленные объекты, медицинские учреждения, кампусы, отели и развлекательные центры. Аэропорты становятся «центрами обмена информацией, знаниями и компетенциями», из чего следует размещение вблизи них наукоемких компаний разного профиля (Kasarda, 2012). Также на приаэропортовой территории, вне зон шумового воздействия, могут располагаться крупные жилые комплексы и это далеко не полный список функций в таких зонах. Значительные территории продолжают занимать объекты сельского хозяйства с учетом обширных зон ограничений капитального строительства.

Что же такого притягательного в приаэропортовых зонах по сравнению с другими территориями? Что делает их более экономически привлекательными по сравнению со многими другими территориями?

Это – «имидж» территории (<http://www.slideshare.net/IAUIDF/key-factors-of-attractiveness-for-airport-areas-and-the-special-role-of-human-resources>). Он достигается через связь с узнаваемым объектом – аэропортом, куда прибывают потенциальные клиенты из всех стран и регионов, всех уровней: от рядовых потребителей до экономического и политического истеблишмента; через связь с современными высокими технологиями, с которыми ассоциируется аэропорт; через высокие стандарты обслуживания и дизайна, к которым стремятся современные аэропорты; через ультрасовременную архитектуру комплексов аэропортов; через эффективное соседство с теми объектами, которые уже разместились в такой зоне.

Это – цены на землю. Зоны аэропортов долго оставались не востребованными для освоения в том числе, в связи с ограничениями застройки. Однако в последние 20 лет модернизация авиационного парка постепенно снижала границы зон ограничений по ряду показателей, и к определенному этапу зоны вокруг аэропортов

оказались значительным свободным земельным резервом, расположенным относительно недалеко от города. Эти территории были частично застроены различными объектами коммунального и логистического назначения, чьи собственники были готовы их продавать или перепрофилировать с учетом возросшего на них спроса. Таким образом, стоимость земли в приаэропортовых зонах была и частично остается невысокой за счет объемов свободного земельного банка.

Это – инфраструктура приаэропортовой территории, которая имеет значительно более высокий уровень развития по сравнению с любыми иными новыми территориями, и в то же время значительно больший потенциал по сравнению с уже сложившимися зонами. В первую очередь это касается транспортной инфраструктуры. Сеть автомобильных магистралей, в том числе скоростных, делает такие территории крайне привлекательными для развития различных функций, как связанных с грузовыми перевозками, так и связанные с перемещением значительного количества людей. Инженерное развитие территории также влияет на привлекательность зон аэропортов, однако этот фактор может быть не развит, поскольку системы энергооборужения аэропортов часто бывают абсолютно самодостаточны и не могут предоставить дополнительных ресурсов для стимулирования окружения.

В числе важных градостроительных проблем, которым уделяется недостаточное внимание в Санкт-Петербурге, отмечаемых в исследованиях специалистов является неучтенность возможностей природного каркаса в развитии города. (Нефедов, 2017), Результатом стремительного роста периферийных территорий на границе Санкт-Петербурга становится ситуация, при которой природный каркас не рассматривается как важная функциональная и композиционная часть нового городского ландшафта. Это относится ко всем периферийным территориям в Санкт-Петербурге. Для приаэропортовых территорий, т.е. тех которые находятся в зоне влияния аэропорта расположенных на периферии Санкт-Петербурга это особенно актуально с учетом его «тансграничности» – расположения, как в Санкт-Петербурге, так и Ленинградской области (Nefedov, 2017).

В обоих субъектах эта территория не учтена в системе городского ландшафта и при этом подвергается в последний период самому массивному воздействию. В то же время территория обладает огромным потенциалом для сохранения и развития природно-ландшафтного каркаса с учетом сохранности крупных свободных не застроенных территорий, с зелеными массивами, водными объектами и естественным ландшафтом.

Среди наиболее заметных проблемных качеств следует, в первую очередь, выделить чрезмерную плотность застройки новых монофункциональных кварталов при полном отсутствии внутренних связей, как между ними, так и между ними и аэропортом. Образуя хаотично возникающие застроенные территории, в том числе в виде отдельных крупных консолидированных монофункциональных зон, урбанизированная среда исключает появление зеленых коридоров и приводит к образованию отдельных спонтанных временных зеленых «оазисов» в зонах в которых по технологическим характеристикам аэропорта запрещена застройка. Конфликтная ситуация, к которой это качество приводит, заключается в отсутствии возможности формирования разветвленного природного каркаса между отдельными территориями, и застроенными кварталами, разрушения отдельных сформировавшихся естественных биотопов и в отсутствии возможности сохранения естественных зеленых зон структуре отдельных территорий. Такая среда не только нарушает экологический баланс но и формирует отчуждение населения от озелененных пространств, теряя зоны потенциального отдыха людей.

В то же время зоны вокруг аэропортов часто обладают высоким зеленым потенциалом во всем мире и такой потенциал способствует их привлекательности устойчивости к изменениям. Так по мнению Дж.Касарды в Китае преобразование зеленых зон вокруг аэропортов с сохранением их природного и рекреационного характера является приоритетным. По его мнению, китайцы при реализации своих программ развития аэропортов и зон вокруг них рассматривают аэропорты как «конкурентные активы», а не «неприятности и угрозы для окружающей среды», многие муниципалитеты настаивают на том, чтобы они т.е. зоны вокруг аэропортов, превратились в зеленые «экологические города» (<http://www.economist.com/news/china/21646245-chinas-frenzied-building-airports-includes-work-city-sized-projects-aerotropolitan-ambitions>).

Как все эти и другие факторы влияют на пространственное развитие приаэропортовых территорий и какова связь города и городской агломерации с аэропортом? Факторы, которые мы рассмотрели выше, в различных условиях по-разному начинают формировать новую урбанизированную территорию. Наличие различных предпосылок в виде развитости одних условий или недостатка других, а также особенности направлений экономического развития города или агломерации, характеристики самого аэропорта влияют в целом на планировочное развитие. В то же время существенным отличием формирования тех или иных форм является нормативная и экономическая контролируемость и регулируемость развития приаэропортовых зон при наличии общей концепции развития территории города или городской агломерации в сочетании с развитием зоны аэропорта – или отдельной концепции приаэропортовой территории.

Пространственное развитие приаэропортовых территорий может принимать различные формы, что следует из существующих в международном опыте концепций развития территорий вокруг аэропортов (таблица 1):

- плотная застройка на территории или в непосредственной близости от аэропорта, обладающая качественными характеристиками города (airport city);
- коридорная застройка, вытянувшаяся вдоль инфраструктурной связи между городом и аэропортом (airport corridor);
- город с аэропортом в качестве ядра застройки (aerotropolis);
- связанная с аэропортом застройка, обладающая дисперсным характером (airea).

Таблица 1. Концепции развития приаэропортовых территорий

Название концепции	Автор	Год	Описание	Особенности
Аэропорт регион	Roeseler	1971	Общая политическая концепция планирования, которая предполагает осознанные функциональные, инфраструктурные и государственные сложно-территориальные территории, простирающиеся вокруг центрально расположенного аэропорта	- «Эмбриональный аэротрополис» (Marcos, 2015); - развитие жилых и промышленных зон вокруг аэропорта; - аэропорт связан с жилой застройкой и основными промышленными и логистическими зонами посредством автомобильных дорог и железнодорожных путей.
	Freestone and Baker	2011		
Аэропорт-город	H. McKinley Conway	1980	Более или менее плотное скопление предприятий, связанных с аэропортом, на и вокруг территории аэропорта	- Большой объем различных функций обслуживания: торговля, отели, досуг; - ориентация на бизнес; - обладает качественными характеристиками присущими городу: плотностью, услугами, качеством доступа.
Аэротрополис	J.D. Kasarda	1991	Агломерация вокруг аэропорта (http://www.aerotropolis.com/)	- Репликация услуг аэропорт-сити; - характеризуется радиальными транспортными связями; - сходство с концепцией «коридор аэропорта»; - «Доминирующий город» (Kasarda, 2012)
Аэропорт коридор	Marije Schaafsma	2008	Коридор аэропорта возникает в области, которая связывает аэропорт с центром города	- Располагается между аэропортом и городом; - способствует устойчивому интегрированию аэропорта в городскую структуру; - подключен к городу и региону по автомагистралям и железной дороге; - «Могут стать препятствием для хордового городского развития и привести к росту фрагментированной линейной застройки» (Schlaack, 2010)
Айреа	Johanna Schlaack	2010	«Матрица фрагментированных островов застройки, связанных с аэропортом» (Schlaack, 2010)	- Фрагменты застройки могут располагаться на большом расстоянии от аэропорта; - имеет схожие особенности с концепциями «аэропорт коридор» и «аэротрополис»

Далее в статье (рисунок 1) приведены схемы, отражающие практическое формирование различных моделей приаэропортовых территорий с наложением на пространственное развитие города. В частности приведены случаи, когда концепции наиболее чисто и без искажений оказались реализованы или находятся в завершающей фазе формирования: аэропорт-город – в рамках аэропорта «Клотен» в Цюрихе; аэрополис, – аэропорт «Вантаа» в Хельсинки; коридор аэропорта, – аэропорт «Каструп» в Копенгагене; айреа, – аэропорт «Вили Брандта» Берлин –Бранденбург.

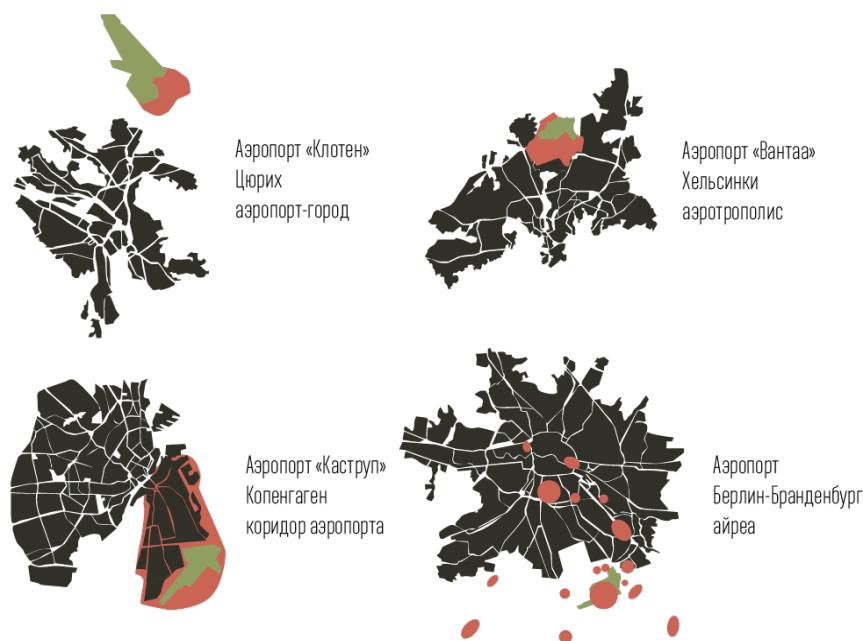


Рисунок 1. Примеры формирования различных моделей приаэропортовых территорий с наложением на пространственные формы города

Проведенное авторами в рамках изучения развития аэропорта Пулково исследование по анализу формирования и развития приаэропортовых территорий во всем мире, показывает, что теоретические модели, предложенные различными исследователями и проанализированные авторами, не являются альтернативными или взаимоисключающими форматами развития приаэропортовой территории, а отражают разные подходы к решению проблем, связанных с освоением таких территорий. При сравнении предложенных теоретических моделей выявлено, что в основе всех их лежит принцип целостной градостроительной системы, т.е. все они предлагают формирование единой зоны – со связями ее с аэропортом, с городом и с подзонами внутри такой зоны. Этот принцип не входит в противоречие даже в случае с распределённой моделью айреа. Отличия имеются в плотностной организации приаэропортовой зоны и приоритетности перспектив ее развития на тот или иной временной промежуток, связанный с развитием аэропорта и города. В результате на значительном числе примеров видно, что крайне сложно выделить чистые модели, реализованные в рамках преобразований приаэропортовых зон. Так, в случае с аэропортом Пулково, мы можем наблюдать признаки сразу трех концепций: аэропорт-сити, коридора аэропорта и аэрополиса.

В Санкт-Петербурге на фоне активного освоения территории вокруг аэропорта существует проблема в отсутствии выработанной стратегии развития приаэропортовых территорий и влияющей на неё концепции авиационного транспорта для городской агломерации в целом. Более того, подобная концепция должна охватывать сам вопрос выявления необходимости появления новых аэропортов или расширение существующих и их влияния на городскую агломерацию. Проблема приаэропортовой территории существует как для Пулково, так и для возможного нового аэропорта, который может появиться в границах Петербургской агломерации в ближайшие 10-15 лет.

Для того чтобы наглядно выявить текущее состояние проблемы, необходимо обратиться к эволюции развития территории.

Эволюция развития приаэропортовых территорий в зоне аэропорта Пулково начинается с 1932 года, когда сдали в эксплуатацию аэродром «Шоссейная», названный по находившейся рядом железнодорожной платформе. Вместе со строительством аэродрома был возведен жилой район «Авиагородок», включающий в

себя несколько жилых домов, школу, магазин и медпункт. Это первые неавиационные функции, появившиеся на приаэропортовой территории. В 1951 году открыто новое здание аэровокзала Шоссейная по проекту архитектора А.Гегелло. Открытие нового терминала аэропорта по проекту А.Жука состоялось в 1973 году. Аэропорт получил новое наименование «Пулково». С конца 90-х годов становится все более очевидным постепенная концентрация активности вокруг аэропорта. В 1986 году был открыт обновленный аэровокзальный комплекс Пулково-2 (<http://www.pulkovoairport.ru/about/history>).

Для территории «Пулково», как и для других российских аэропортов одним из ключевых этапов эволюции развития территорий вокруг них стал этап формирования рыночной стоимости земли в данной зоне, и предшествовавший этому период приватизации, начавшийся в 1991 году. Земли вокруг аэропорта стали активно осваиваться. В 2013 году завершилось строительство нового терминала Пулково

Стоимость земли в зоне аэропорта формируется с учетом возможности ее использования и отражает рыночную потребность в тех или иных объектах с учетом конкуренции и емкости рынка, правовых градостроительных режимов использования земли и ограничений аэропорта, включая обременения, накладываемые радионавигационными системами, высотные регламенты, требования безопасности, экологическое состояние земли и воздушного бассейна, текущее состояние и планируемое развитие транспортной и инженерной инфраструктуры. Дополнительные ограничения могут накладывать объекты, функционирующие в зоне аэропорта, в том числе такого объекта, как Пулковская обсерватория. Немаловажным фактором является развитие самого аэропорта с учетом его пропускной способности, числа авиакомпаний и планов по дальнейшему преобразованию. Еще один значительный фактор – это развитие различных функций, в первую очередь жилых и производственных в приграничной зоне, которая фактически не связана с аэропортом непосредственно через функциональные связи, однако влияет на привлекательность организации тех или иных объектов в зоне аэропорта.

Какие же из этих факторов и как повлияли на процессы развития приаэропортовой территории Пулково? Можно проследить привлекательность тех или иных территорий для инвестиций с учетом их развития и изменения рыночной стоимости земли.

Земли вокруг аэропорта Пулково, до этапа приватизации в 1991 году использовались в первую очередь как сельскохозяйственные и принадлежали ряду крупных сельхозпредприятий, в результате приватизации фактически более 4000 га были приватизированы и оказались тем или иным образом вовлечены в оборот. Большая часть из них престала использоваться как сельскохозяйственные земли с учетом низкой экономической эффективности данной деятельности в указанной зоне и повышенной степени загрязнения почв и воздушного бассейна в зоне аэропорта.

За последние десять лет рыночная стоимость земли в зоне аэропорта Пулково резко выросла в диапазоне от 50% до 250%. (по данным компании ООО «АРИН»). К 2010 году в собственности городских и муниципальных властей города и области в зоне ограниченной основными магистралями, примыкающими к аэропорту, находилось не более 40 % территории (по данным авторов полученным в ходе выполнения работ по корректировке (ППТ «Территории зоны влияния аэропорта "Пулково", а также ряда иных работ выполненных по заказу Комитета по инвестициям и стратегическим проектам Санкт-Петербурга в период 2009-2012 гг.).

Особый интерес со стороны девелоперов в последние 8 лет, был привлечен к участкам, на которых было разрешено возведение многоквартирных жилых домов, но ввиду неразвитости транспортной и инженерной инфраструктуры и отсутствия программы комплексного экологического оздоровления территории, значительная часть проектов не реализована. Попытка жилой застройки в технических зонах аэропорта привела к отмене части проектов, часть проектов оказала значительное негативное воздействие на расположенный в зоне аэропорта комплекс Пулковской обсерватории.

Активное формирование деловой зоны в непосредственной близости от аэропорта, во многом сдерживалось отсутствием крупных компаний арендаторов, на которых ориентированы подобные объекты. Однако приход компаний, связанных с ПАО Газпром, и открытие крупнейшей выставочной площадки «Экспофорум» привело к высокой степени заполняемости офисных объектов и увеличению дальнейшего спроса на офисные площади в данном районе.

С увеличением пропускной способности аэропорта и развитием вокруг него деловой и выставочной функций развитие гостиничных объектов также стало востребованным. На развитие торговых функций во многом повлияло активное освоение жилой застройки в южной части города и развитие транспортной инфраструктуры – Кольцевой автодороги Санкт-Петербурга и Западного скоростного диаметра. При этом можно проследить постепенное изменение отношения к формированию торговых объектов в данной зоне. Коммерческое развитие вокруг аэропорта Пулково начинается преимущественно в 2006 году, тогда на Пулковском шоссе появляется большое количество гипермаркетов, спад спроса в кризисный период привел к низкой заполняемости и посещаемости торгово-развлекательных объектов, что привело к появлению в 2008 году термина «кладбище торговых центров» (ООО «Институт проблем предпринимательства» А. Шаскольский). Однако общее развитие территории изменило ситуацию на рынке и сделало торговые

объекты более привлекательными, что можно проследить на следующих этапах освоения территории, когда появляется еще пять крупных торговых объектов в зоне аэропорта.

В последние пять лет также активно развивается сервисно-технологическая сфера – появляются представительства компаний со своими площадками, реализующими технику (транспортную и строительную) в зоне аэропорта. Параллельно идет освоение складывающихся промышленных площадок вдоль Волхонского шоссе и Горелово, а также в прилегающей части Шушар. При этом видна тенденция к освоению периферийных территорий, прилегающих к транспортным магистралям в зоне аэропорта с развитой инженерной инфраструктурой. Остальные территории фактически остаются свободными. При этом необходимо отметить, что практически все площадки в тот или иной момент находились или находятся в активной продаже. Размер продаваемых площадок колеблется от 20 до 250 га. Значительная их часть до сих пор выставлена на рынке при стоимости от 30- 120\$ за метр. Стоимость во многом зависит от характеристик территории, однако учитывая размеры площадок, они в целом разнородны по ограничениям и градостроительным статусам. В результате, сегодня имеется значительный земельный банк территорий под будущее освоение в зоне аэропорта, который в настоящее время не задействован в развитии и не включает в себя зеленые зоны. Фактически, это территория площадью более 2500 га. Большая часть из этих территорий не охвачена утвержденной и разрабатываемой в настоящее время документацией по планировке территории. Застроенные территории как мы видим, формируются отдельными локациями не связанными друг с другом, и не имеющим связей с рекреацией.

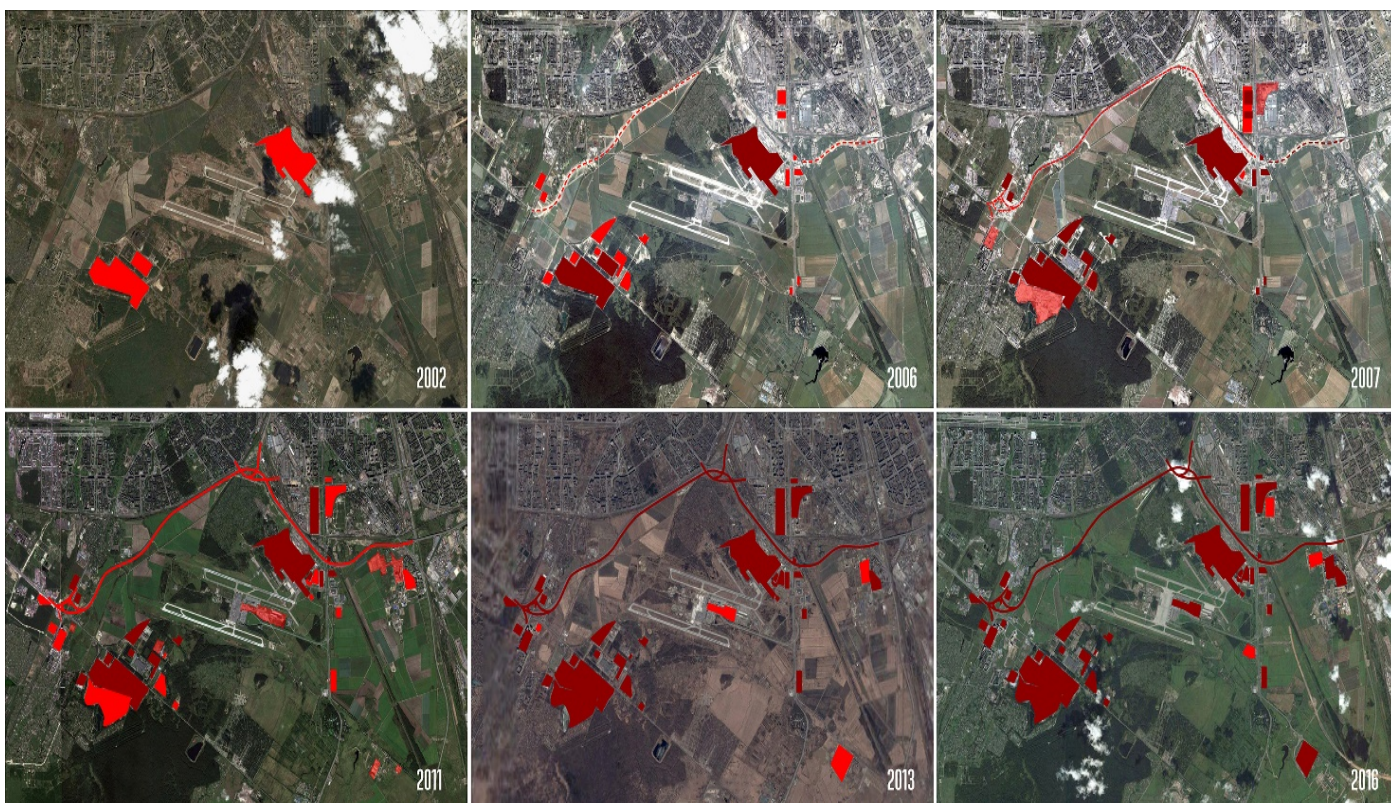


Рисунок 2. Динамика развития Пулковской приаэропортовой территории (на основе Google maps)

Таким образом, в зоне аэропорта Пулково – к настоящему времени сформировались предпосылки развития территории в рамках сразу трех концепций: аэропорт-сити – в виде большого объема различных функций обслуживания и высокой плотности освоения в зонах, связанных с размещением терминалов аэропорта; коридора аэропорта – в части активного освоения территорий вдоль основных магистралей связывающих аэропорт и город, в первую очередь, освоение вдоль Пулковского шоссе; аэротрополиса – как репликации услуг аэропорт-сити вокруг расширенной зоны аэропорта вдоль основных радиальных магистралей (рисунок 2).

Как же формировалось отношение города и области к развитию территорий вокруг аэропорта в последние 15 лет? Необходимо отметить, что в Санкт-Петербурге и Ленинградской области достаточно долгое время не прослеживалась тенденция к комплексному развитию всей территории в зоне аэропорта как для двух

субъектов, так и в рамках одного субъекта. Из городских инициатив Санкт-Петербурга можно отметить комплексные работы по подготовке к освоению городских территорий в 2009 году по инициативе КИСП (комитета по инвестициям и стратегическим проектам). В остальном городские инициативы сводились к развитию внешней транспортной инфраструктуры и непосредственно самой зоны аэропорта. В составе документов территориального планирования города и области комплексное развитие приаэропортовой территории не предусматривалось ни совместно, ни самостоятельно. Не было и нет даже отдельного типа функциональных и территориальных зон с учетом расположения в зоне аэропорта, в итоге во всех документах решения сводились к выделению разрозненных функциональных зон без единой общей концепции развития. Разработка документации по планировке территории также не учитывала комплексного освоения или особой специфики территорий, что видно по характеру выделения территорий (рисунок 3). В частности не было предусмотрено единой транспортной схемы и формируемого природно-экологического каркаса территории, границы выделяемых территорий не привязаны к общему пространственно-планировочному развитию.

Результаты текущего состояния территорий в зоне аэропорта представлены на схеме (рисунок 4).

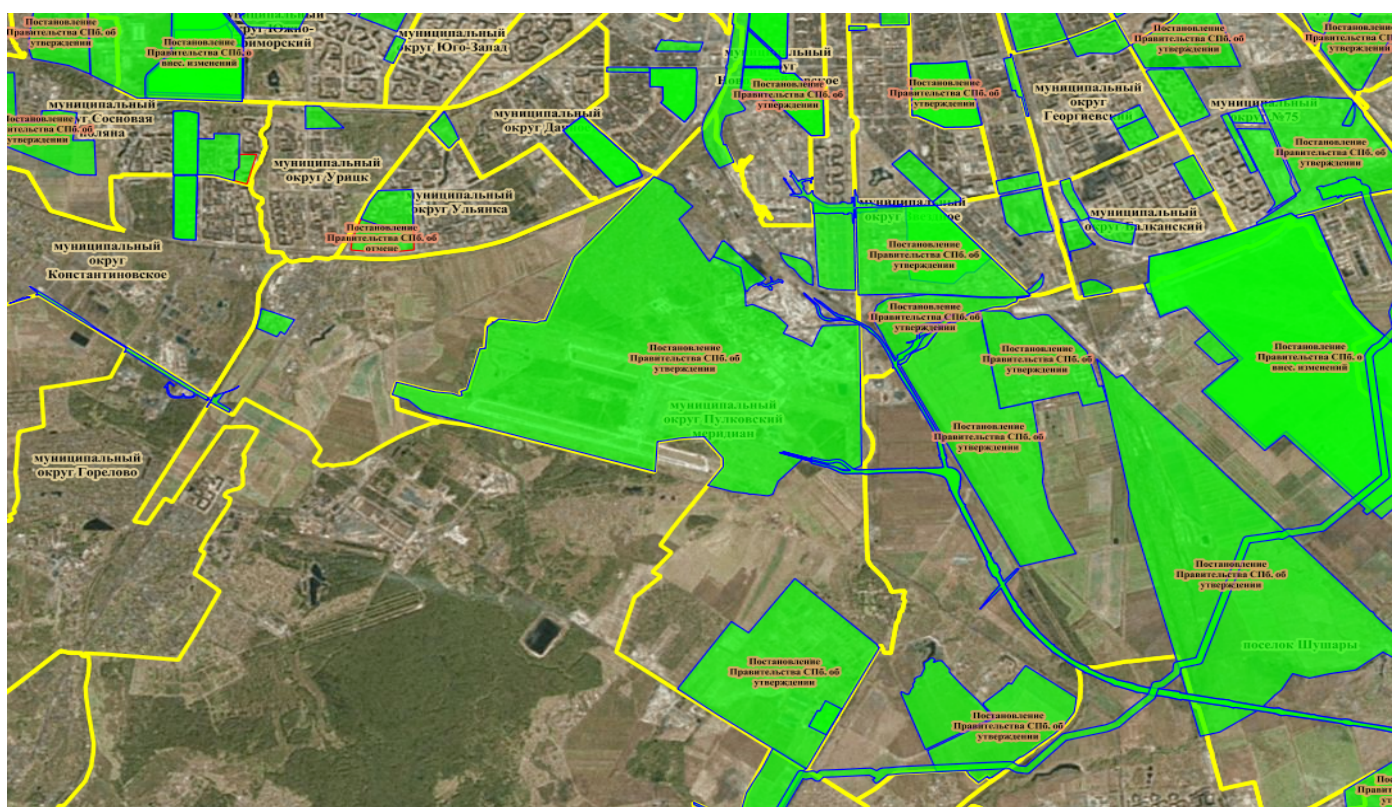


Рисунок 3. Утвержденные проекты планировки в зоне приаэропортовой территории Пулково(Санкт-Петербург)

В последние пять лет наблюдается смещение градостроительной активности в Санкт-Петербурге по направлению к южным окраинам города. Значимость фактора близости к аэропорту демонстрирует увеличение количества крупных девелоперских проектов, активно формируется ряд крупных жилых проектов, в том числе таких как город-спутник «Южный». Московский район становится «вторым после исторического центра районом деловой активности в Санкт-Петербургской агломерации» (Гончарова, Романюк, 2013). Все происходящие преобразования становятся предпосылками к необходимости комплексного развития приаэропортовой территории в зоне аэропорта Пулково.

Для определения направления развития аэропорта Пулково в Санкт-Петербурге выявлен ряд проблем территорий, находящихся под его влиянием:

- несбалансированность формирующейся застройки, ее негативное влияние на аэропорт, окружающую природную среду и отдельных объектов – друг на друга;
- образование отдельных территориальных анклавов, не связанных с общей градостроительной структурой;
- отсутствие развитой транспортной инфраструктуры в зоне аэропорта;
- «отсутствие удобного и быстрого транспортное сообщения аэропорта «Пулков» с центральным коммуникационным районом Санкт-Петербурга» (Лаборатория градопланирования, 2015);

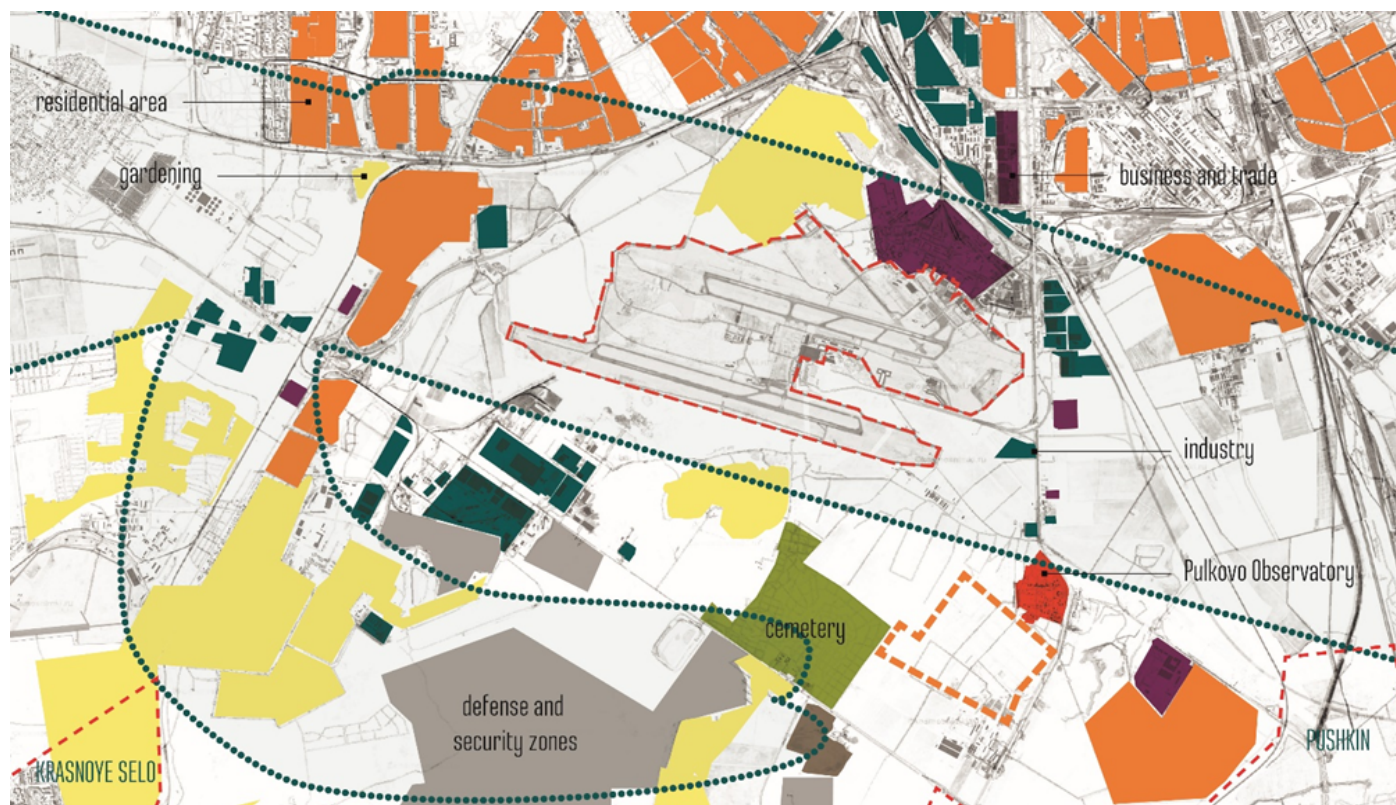


Рисунок 4. Существующее функциональное наполнение приаэропортовой территории Пулково

- незавершенность единой транспортной системы;
- неэффективное использование ресурса территории, нераскрытый экономический потенциал;
- высокий процент закрытых территорий;
- отсутствие комплексной единой концепции развития приаэропортовых территорий;
- несогласованность градостроительной документации.

Результаты

Мы подходим к тому, что освоение территорий вокруг аэропорта крупнейшего города является закономерным процессом, который без единой стратегии развития приобретает стихийный характер. Это приводит к появлению отдельных очагов застройки, не связанных как друг с другом, так и с окружающей территорией. Следует отметить, что речь преимущественно идет о международных аэропортах в крупнейших городах, обладающих или стремящихся к статусу «хаба». Для менее влиятельных и небольших аэропортов подходит такой сценарий развития, как «сосуществование», когда «задачи территориального планирования будут оставаться сфокусированными на снижении отрицательного воздействия авиаперевозок и обеспечении необходимых земельных ресурсов для строительства инфраструктуры аэропорта в случае роста пассажиропотока» (Лежава, Кудрявцев, 2010).

В настоящее время попытки регулирования застройки на приаэропортовых территориях носят исключительно ограничительный характер. До сих пор в России земли вокруг аэропортов рассматриваются градостроителями преимущественно как зона отрицательного воздействия крупного объекта транспортной инфраструктуры на окружающие поселения. И как следствие отражением такого явления становятся регламенты, ограничивающие застройку вблизи аэропорта. В то же время положительный импульс, который аэропорт способен дать окружающим территориям, остается зачастую не реализованным. В итоге отсутствует инициатива и представление о том, как подобные территории должны развиваться в целом с учетом всех существующих ограничений. Более того, большинство исследований освещают вопросы технического, транспортного и экономического характера и не затрагивают взаимосвязь аэропорта и города. Как правило, они направлены на решение конкретных задач, а не комплексных проблем. Хотя некоторые из них и признают необходимость управлять и контролировать аэропорт с экологической, экономической и законодательной точки зрения, часто они не приписывают адекватное значение региональному планированию (Cipriani, 2012).

Заключение

К одному из наиболее эффективных инструментов развития приаэропортовой территории Пулково следует отнести формирование на её основе отдельной планировочной зоны с разработкой единой стратегии развития. Эта стратегия должна не только отражать комплексное развитие территории, но и иметь намеченную пространственную структуру. Для этого требуется учесть те приемы и методы, которые выработались в международной практике последних 20 лет, и учесть возможности их преобразования в местных условиях. В ситуации с Санкт-Петербургом мы ещё имеем возможность задать приаэропортовой территории вектор развития, ввиду наличия территориального ресурса для освоения вокруг аэропорта. Единая стратегия должна быть эффективна для города и агломерации в целом, учитывать интересы всех заинтересованных сторон (оператора аэропорта, Правительства Санкт-Петербурга и Ленинградской области, инвесторов и девелоперов) (Schaafsma, 2010).

Необходима разработка обновлённой концепции градостроительного планирования, не зависящей от административной принадлежности с долгосрочными стратегическими задачами и инструментами эффективного управления. В основу такой концепции должен быть положен принцип градостроительной экстерриториальности приаэропортовых территорий, которые должны получить собственный статус и единую градостроительную документацию. Такое положение возможно как на уровне решения двух субъектов РФ, так и путем подготовки соответствующих изменений в градостроительные документы в частности градостроительный кодекс РФ, как ранее произошло с понятием транспортно-пересадочных узлов. Введение понятия приаэропортовой территории в правовую градостроительную практику позволит более эффективно выстраивать условия для их комплексного и эффективного освоения.

Литература

Cipriani, L. (2012). *Ecological airport urbanism. Airports and landscapes in the North East*. Trento: Università degli Studi di Trento, p. 153.

Donnet, T., Keast, R.L. (2010). Cities in the airports 'shadow': underlying interests and discretionary power in airport-region development. In: *Proceedings of the 12th WCTR World Conference on Transport Research*, Lisbon.

Güller, M., Güller, M. (2001). *From Airport to Airport City*. Barcelona: Airports Region Conference.

Kasarda, J., Lindsay, G. (2012). *Aerotropolis: The Way We'll Live Next*. New York: Farrar, Straus and Giroux.

Klos, D. (2014). *Airports as cities- the concept of aerotropolis applied to Helsinki-Vantaa International*. Доступно по ссылке: http://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/77781/Klos_Dominika.pdf?sequence=1&isAllowed=y (дата обращения: 12.06.2017)

Legislative Services Agency (2012). *Airport development zones*. Доступно по ссылке: <http://www.in.gov/legislative/pdf/IncomeTaxCredti-tReview2012.pdf> (дата обращения: 12.06.2017)

Marcos D.F.C., João de Abreu e Silva (2015). A review of airport concepts and their applicability to the new lisbon airport process. *Revista Portuguesa de Estudos Regionais [Portuguese Journal of Regional Studies]*, 38, pp. 47–58.

Nefedov, V. (2017). Green infrastructure integration in the urban periphery. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Urban Design and Planning*, 170(2), pp. 47–58. DOI: 10.1680/jurdp.15.00047

Peneda, M.J.A., Reis, V.D., Maria do Rosário M.R. Macário (2011). Critical factors for the development of airport cities. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2214, pp. 1–9. DOI: 10.3141/2214-01

Schaafsma, M. (2010). From airport city to airport corridor. In: *Proceedings of 1st International Colloquium on Airports and Spatial Development "Airports in Cities and Regions: Research and Practise"*, pp. 173–180.

Schlaack, J. (2010). Defining the Area. In: *Proceedings of 1st International Colloquium on Airports and Spatial Development "Airports in Cities and Regions: Research and Practise"*, pp. 113–125.

Thierstein, A.; Conventz, S. (2014). Hub Airports, the knowledge economy and how close is close? Evidence from Europe. In: *Proceedings of 54th Congress of the European Regional Science Association "Regional development & globalisation: Best practices"*. St. Petersburg, Russia.

Веретенникова, К.В. (2016). *Принципы кластерного освоения территории вокруг аэропорта Пулково*. Автореферат. СПб.

Гончарова, О., Романюк, Р. (2013). Южный Петербург - новая инвестиционная долина. *Эксперт. Северо-Запад: региональный деловой журнал*, 15, с.34–37.

Лаборатория градопланирования (2015). *Аналитическая записка «Транспортные проблемы Санкт-Петербурга, решаемые на уровне комплексного планирования территориальной транспортной системы»*. Доступно по ссылке: http://labgrad.ru/d/180205/d/01_analitich-eskayazapiska_problemytsspb29_05_2015.pdf (дата обращения: 22.05.2017)

Лежава, И.Г., Кудрявцев, Ф.С. (2010). *Международные аэропорты московского авиаузла как ресурс развития московской агломерации*. Москва: Московский архитектурный институт (Государственная академия).

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ БЕСТРАНШЕЙНОГО РЕМОНТА НАРУЖНЫХ ИНЖЕНЕРНЫХ СЕТЕЙ

Антонина Юдина ¹, Евгений Кобелев ²

^{1,2} Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, Россия, 190005, г. Санкт-Петербург, 2-ая Красноармейская ул., д. 4

¹ yudinaantonina2017@mail.ru

Аннотация

В работе рассматриваются технологические особенности применения инновационных методов бестраншейного ремонта инженерных сетей городской инфраструктуры, а также перспективы локализации зарубежных технологий в России. На конкретном примере приводится сравнительный анализ технико-экономических показателей метода открытой прокладки участка трубопровода с аналогичными показателями наиболее распространенных бестраншейных технологий ремонта самотечных коллекторов.

Авторами сделаны выводы о необходимости проведения дополнительных исследований как по созданию инновационных отечественных полимерных материалов и выпуску монтажного оборудования, так и по совершенствованию существующей нормативной базы по разработке новой типовой технологической документации для широкого внедрения в строительную практику перспективных технологий бестраншейного ремонта наружных инженерных сетей.

Ключевые слова

Бестраншейные технологии, инженерные сети, ремонт трубопроводов, реновация, восстановление, коллектор.

Введение

Как показывает современная строительная практика, в условиях плотной городской застройки наиболее конкурентоспособными по основным технико-экономическим показателям оказываются технологии по бестраншейному ремонту и восстановлению наружных инженерных сетей и других подземных коммуникаций (Авдеева и др., 2014; Верстов и др., 2008; Храменков и др., 2008).

Бестраншейные технологии восстановления наружных инженерных сетей по сути являются капитальным ремонтом существующих трубопроводов, так как работы чаще всего выполняются из существующих колодцев (Кобелев, 2010), поэтому не требуют проведения проектно-изыскательских работ, дополнительных затрат по подготовке строительного участка, а также экспертизы проекта и других согласований и финансовых вложений, необходимых при новом строительстве. Структура затрат на новое строительство и восстановление сетей с применением бестраншейных технологий показаны на диаграмме (рисунок 1).

Предмет, задачи и методы

В последние годы постоянно возрастают требования к качеству материалов, используемых в наружных инженерных сетях городского коммунального хозяйства как при традиционной открытой прокладке, так и в случае бестраншейных методов реновации трубопроводов. Использование полимерных труб и инновационных технологий значительно облегчает и ускоряет как процесс строительства новых инженерных сетей, так и ремонта существующих трубопроводов из традиционных материалов (Продоус, 2004).

В настоящее время во многих крупных городах России успешно реализуется программа по реконструкции существующих коммуникаций водоснабжения и канализации, которая предусматривает выполнение работ по реновации наружных инженерных сетей закрытым способом с целью сохранения городского ландшафта и отсутствия транспортных помех (Минстрой России, 2016, Орлов, 2008). Многие технологии бестраншейного ремонта трубопроводов соответствуют указанным требованиям, являются весьма экономичными, в среднем на 30 – 50 % сокращают капитальные вложения по сравнению с традиционными методами прокладки труб и не требуют длительных и весьма затратных согласований на проведение ремонтных работ открытым способом (Продоус, 2004).

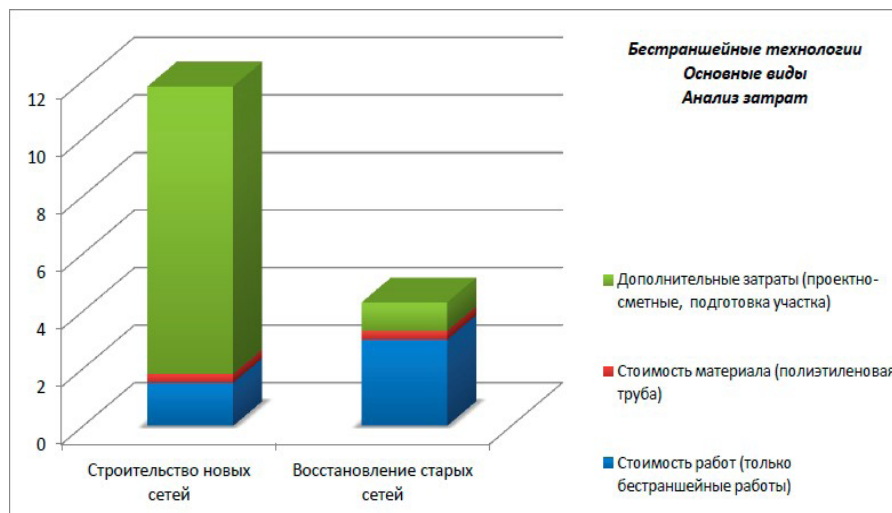


Рисунок 1. Структура стоимости строительства новых и восстановления старых сетей с применением бестраншейных технологий

Помимо этого, применение бестраншейных технологий для реновации городских подземных коммуникаций в среднем на 25 – 40 % сокращает потребление электроэнергии насосно-силовым оборудованием и за счет использования труб из инновационных полимерных материалов сохраняет, а в отдельных случаях даже увеличивает пропускную способность восстановленных трубопроводов (Верстов и др., 2008).

Однако, как показывает анализ существующей нормативной базы (Госстрой СССР, 1987; ГЭСНр 2001-66, 2008; Минстрой России, 2016), в ней имеется типовая технологическая документация лишь для некоторых бестраншейных технологий по ремонту трубопроводов. В имеющейся нормативной базе, как правило, отсутствуют описание технологических процессов, данные по новейшим материалам, необходимому монтажному оборудованию, которые фактически используются подрядчиками при внедрении новых методов бестраншейного ремонта наружных инженерных сетей. С целью экономии значительных средств и времени, необходимых на разработку, согласование и утверждение технологической документации на инновационные методы бестраншейного ремонта трубопроводов подрядные организации с согласия заказчика вынуждены применять рабочую документацию, которая в большинстве случаев лишь частично соответствует конкретной бестраншейной технологии, фактически применяемой подрядчиком на объекте.

Существующая практика составления и согласования калькуляций на отдельный участок восстанавливаемой городской сети является весьма дорогостоящей процедурой и не лишена многих нюансов, оказывающих значительное влияние на сметную стоимость ремонтных работ. Отсутствие типовой технологической документации и надлежащего контроля качества работ, выполняемых подрядчиком, как правило, сопровождаются несоблюдением технологии бестраншейного ремонта, что отрицательно сказывается на полученных результатах восстановления трубопровода и часто приводит к удорожанию первоначальной сметы на выполнение работ.

Результаты исследования

В настоящей статье на примере сравнения технологий выполнения работ по открытой прокладке участка городского самотечного канализационного коллектора $D_u=200$ мм протяженностью 100 пог. м в соответствии с ЕНиР. Сб. Е9. (Госстрой СССР, 1987) и бестраншейного ремонта старого трубопровода закрытыми способами по нормам ГЭСНр 2001-66. (редакция 2008 г.) дается краткое описание технологических процессов и состава выполняемых работ, применяемых машин и оборудования, а также приводятся результаты анализа технико-экономических показателей для сравниваемых технологий.

Технология открытой прокладки полипропиленовой гофрированной двухслойной раструбной трубы $D_u/D_n=200/225$ мм включает в себя выполнение следующих работ:

- проектирование, согласование и экспертиза проекта;
- закрытие дорожного движения, организация и согласование схемы объезда участка работ;
- снятие дорожного покрытия с вывозом инертных материалов;
- механизированная разработка грунта, устройство траншеи с рамными креплениям стенок, зачистка дна вручную;
- разборка существующего коллектора;
- устройство песчаного основания под трубы с послойной трамбовкой;
- укладка новых полипропиленовых раструбных трубопроводов;

Машины и оборудование, используемые при открытой прокладке полипропиленовой гофрированной двухслойной раструбной трубы Ду/Дн=200/225 мм: одноковшовый экскаватор «обратная лопата», бульдозер, фреза для снятия слоя асфальта, автосамосвалы, автомобильный кран, дизель-генератор, компрессор для сжатого воздуха, пневматические трамбовки, асфальтоукладчик, асфальтовый каток, электрический и ручной инструмент.

- засыпка пазух котлована, обратная засыпка грунта с послойной трамбовкой в траншее;
- восстановление дорожного покрытия и благоустройство прилегающей территории на всем протяжении трассы трубопровода.

Особенности выполнения работ: длительный период выполнения подготовительных и монтажных работ на каждом участке прокладки трубопровода

Технология протягивания новой полиэтиленовой напорной трубы SDR 17 ПЭ 100 Ду=225 мм без разрушения существующего трубопровода включает такие работы, как:

- проектирование, согласование и экспертиза проекта ремонта с устройством рабочих котлованов;
- закрытие дорожного движения, организация и согласование схемы объезда каждого участка работ;
- снятие участков дорожного покрытия с вывозом инертных материалов.
- проведение комплекса земляных работ по устройству рабочих котлованов и демонтажу колодцев;
- обратная засыпка рабочих котлованов с послойной трамбовкой;
- восстановление дорожного покрытия в зонах рабочих котлованов и благоустройство прилегающей к ним территории.

Необходимые машины и оборудование, используемые для протягивания новой полиэтиленовой напорной трубы SDR 17 ПЭ 100 Ду=225 мм без разрушения существующего трубопровода: оборудование для механической очистки и гидродинамической промывки трубопровода, оборудование для ТВ-инспекции, гидравлическая автоматическая лебедка или пневмоснаряд для втягивания сваренной плети ПЭ труб, сварочный аппарат для стыковой сварки ПЭ труб, одноковшовый экскаватор, автомобильный кран, металлический шпунт, автосамосвал, дизель-генератор, компрессор для сжатого воздуха, пневматические трамбовки, асфальтоукладчик, асфальтовый каток, электрический и ручной инструмент.

Особенности выполнения работ:

- необходимо проведение комплекса земляных работ по устройству рабочих котлованов и демонтажу колодцев на каждом монтажном участке;
- требуется мощная лебедка для протяжки тяжелой плети, сваренной из мерных отрезков напорной трубы;
- необходимость выполнения работ по монтажу новых смотровых колодцев;
- восстановление дорожного покрытия в зонах рабочих котлованов и благоустройство прилегающей к ним территории.

Технология протягивания новой ПЭ трубы SDR 17 ПЭ 100 Ду=225 мм с разрушением существующего трубопровода с помощью пневматического пробойника состоит из следующих технологических процессов:

- проектирование, согласование и экспертиза проекта;
- частичное закрытие дорожного движения, организация и согласование схемы объезда участка работ;
- снятие участков дорожного покрытия с вывозом инертных материалов;
- проведение комплекса земляных работ по устройству рабочих котлованов и демонтажу колодцев;
- подготовка плети из полиэтиленовых труб со сваркой стыков;
- установка лебедки на основание из металлического щита с последующим демонтажем;
- монтаж и демонтаж анкерного устройства, расширителя и клапана;
- сборка пневматического шланга, его протаскивание в полиэтиленовую трубу с последующим демонтажем;
- протаскивание плети из полиэтиленовых труб с помощью лебедки;
- закрытие концов плети;
- обратная засыпка рабочих котлованов с послойной трамбовкой;
- монтаж смотровых колодцев;
- восстановление дорожного покрытия в зонах рабочих котлованов и благоустройство прилегающей к ним территории.

Необходимые машины и оборудование, используемые при протягивании новой ПЭ трубы SDR 17 ПЭ 100 Ду=225мм с разрушением существующего трубопровода с помощью пневматического пробойника: специальный грузовой автомобиль, мощная пневмопродавливающая машина, гидравлическая автоматическая лебедка с задаваемой скоростью продвижения головки и усилий лебедки, сварочный аппарат для стыковой сварки ПЭ труб, компрессор с давлением не менее 0,6 МПа, для привода пневмопродавливающей машины, устройство контроля изгибов трассы ремонтируемого участка сети, дизель-генератор, экскаватор, автомобильный кран, металлический шпунт, автосамосвал для вывоза грунта, дизель-генератор, отбойные молотки, пневматические трамбовки, асфальтоукладчик, асфальтовый каток, электрический и ручной инструмент.

Особенности выполнения работ:

- длительный и очень шумный процесс разрушения старого трубопровода, в процессе которого возможно значительное смещение грунтов.

- невозможно использовать для проходки криволинейных участков трассы.

- значительные помехи уличному движению.

- высокое энергопотребление, возможно загрязнение окружающей среды.

Технология восстановления канализационных коллекторов методом «ИНСИТУФОРМ» («чулок» Ду=200мм) включает следующие работы:

- обход трассы с открыванием люков колодцев;

- перекачка сточных вод с их отводом по временной трубе.

- промывка трубы при заиливании не более 30% с отсасыванием воды и отвозкой ила;

- обследование состояния сети телеустановкой;

- разбивка выступающих частей присоединения труб в колодце;

- технологический процесс санирования «чулком» Ду=200мм с прогревом;

- откачка технологических вод из колодцев;

- вырезание хвостовой части чулка и лотков в колодцах с вывозом отходов;

- телевизионное обследование внутренней поверхности чулка;

- заделка сопряжений труб и лотков в железобетонных колодцах.

При производстве перечисленных работ используются: оборудование для гидро-динамической промывки и очистки трубопровода, оборудование для телевизионного обследования, генератор тепла или УФ излучения, направляющая колонна, захват для выворота чулка, термостойкий шланг, буфер, резиновая заглушка, механическая или электрическая лебедка для затаскивания чулка, передвижной технологический комплекс для полимеризации чулка, робот-резчик для вырезки отверстий в стенке полимерной трубы, электрический и ручной инструмент.

Особенности выполнения работ:

- требуется комплект дорогостоящего специального оборудования;

- технологический процесс подготовки, монтажа и прогрева «чулка» для его полимеризации очень сложный длительный и непрерывный;

- материал «чулка», сшитого из полиэфирного фетра или стекловолокна, предварительно пропитывается эпоксидными смолами и поставляется на участок в герметичной упаковке;

- «чулок» очень чувствителен к температуре окружающей среды, имеет ограниченный срок использования пропитанного материала, при непосредственном контакте оказывает вредное химическое воздействие на человека;

- не экологичен и не подлежит утилизации.

Так как формирование новой трубы производится под землей, поэтому очень сложно контролировать качество работы до ее полного окончания. Практически невозможно вытащить трубу в процессе монтажа.

Технология бестраншейного восстановления канализационных трубопроводов методом «ФЛЕКСОРЕН» (Дн=200мм) включает следующие работы:

- существующий коллектор промывается струей воды под высоким давлением при заиливании не более 30% или прочищается другими способами;

- телевизионное обследование существующего коллектора для обнаружения скрытых присоединений, повреждений или смещений труб;

- трубы и монтажное оборудование доставляются и складываются в непосредственной близости от места монтажа (как правило, на тротуаре или обочине дороги);

- дорожное движение на участке ремонта не закрывается, у колодцев

устанавливаются временные ограждения, не препятствующие движению транспорта или пешеходов;

- из подающего колодца в приемный колодец проталкивается стекловолоконный трос, которым затем протаскивается вытяжной трос лебедки;

- в подающем колодце устанавливаются направляющая трубы в колодце с удлинительной штангой и над этим колодцем монтируется направляющая опора;

- в приемном колодце монтируется перекидной блок, удлинительная штанга и над этим колодцем устанавливается лебедка;

- сварка отрезков труб в плетью с помощью сварочных колец с закладным нагревательным элементом;

- протаскивание и отсоединение метрового шаблона трубы;

- присоединение оголовка к плети с последующим отсоединением;

- протаскивание плети полиэтиленовых труб в существующий коллектор через колодец по направлению течения потока с помощью лебедки, установленной над приемным колодцем;

- заполнение межтрубного пространства легким цементно-песчаным раствором или пенобетоном;

- устройство сопряжения входного и выходного отверстия трубы с колодцем цементным раствором;
- контрольное телевизионное обследование восстановленного коллектора и проверка его герметичности.

Для выполнения работ по технологии бестраншейного восстановления канализационных трубопроводов методом "ФЛЕКСОРЕН" (Дн=200мм) необходимы такие машины и оборудование, как оборудование для телевизионного обследования трубопроводов, сварочный аппарат для сварки ПЭ муфтами с закладными нагревательными элементами, сварочная рама, фиксаторы трубы, вытяжной трос, лебедка, направляющая опора над колодцем, бетононасос для заполнения межтрубного пространства.

Особенности выполнения работ:

- уникальная конструкция стенки и гибкость трубы для ремонта самотечных коллекторов через колодцы;
- ремонт канализации выполняется без закрытия дорожного движения;
- допускается эксплуатация канализационного коллектора в процессе его санации;
- непрерывная труба целиком перекрывает расстояние между колодцами;
- значительное повышение пропускной способности существующего коллектора и высокая степень самоочистки новой трубы;
- не создает помех движению транспорта и жителям прилегающих домов;
- звено из 3-х человек ремонтирует за смену 200-300 м предварительно подготовленных коллекторов внутренним диаметром от 100 до 300 мм.

Результаты и обсуждение

Данные сравнения различных технологий открытой прокладки и бестраншейного ремонта трубопроводов по стоимости и трудозатратам представлены в таблице 1.

Таблица 1. Сравнительные экономические показатели технологий открытой прокладки и бестраншейного ремонта трубопроводов

Технология и ссылка на нормативный документ	Стоимость материалов, %	Трудозатраты, %	Сметная стоимость, %
Технология открытой прокладки ПП раструбной трубы Ду/Дн=200/225 мм (ЕНиР Е9-2)	51	83	67
Протягивание новой ПЭ трубы SDR 17 ПЭ 100 Ду=225 мм без разрушения существующего трубопровода (ТЕРр66-32)	29	36	32
Протягивание новой ПЭ трубы SDR 17 ПЭ 100 Ду=225 мм с разрушением существующего трубопровода с помощью пневмопробойника (ТЕРр66-31)	24	42	33
Восстановление канализационных коллекторов методом «ИНСИТУФОРМ» Ду=200мм (ТЕРр66-41)	100	100	100
Бестраншейное восстановление канализационных трубопроводов методом "ФЛЕКСОРЕН" Дн=200мм (ТЕРр66-40)	28	21	25

Как следует из анализа полученных результатов, приведенных в таблице 1, применение инновационных технологий бестраншейного ремонта трубопроводов с использованием высококачественных полимерных материалов, несомненно, является экономически оправданным долговременным вложением в городскую инфраструктуру по сравнению с применением традиционного открытого метода прокладки. Однако далеко не во всех российских городах, даже крупных, инфраструктурные предприятия могут использовать современные бестраншейные технологии для прокладки новых и ремонта существующих трубопроводных сетей. К сожалению, для многих предприятий ЖКХ инновационные бестраншейные технологии пока являются недоступными из-за недостаточного финансирования региональных программ строительства и ремонта наружных инженерных сетей.

Выводы

1. Для широкого внедрения в инженерную практику закрытых способов восстановления подземных коммуникаций необходимы дополнительные исследования как по созданию новых отечественных полимерных материалов, выпуску монтажного оборудования, так и по разработке экономически эффективных инновационных технологий бестраншейного ремонта трубопроводов.

2. Существует настоятельная необходимость по совершенствованию существующей и разработке новой нормативной базы для создания типовой технологической документации по инновационным технологиям бестраншейного ремонта наружных инженерных сетей.

Литература

Авдеева, М.А., Луферчик, Я.С., Рязанов, А.В., Ручкина, О.И. (2014). Анализ технологии реновации водопроводных и водоотводящих трубопроводов. *Вестник ПНИПУ*, 4, с.84–106.

Верстов, В.В., Копанская, Л.Д., Белов, Г.А. (2008). *Разработка технологии бестраншейной прокладки трубопроводов: методические указания к выполнению курсовой работы по дисциплине «Технология и организация городского строительства и хозяйства» для студентов специальности 270105 – городское строительство и хозяйство*. СПб: СПбГАСУ, с.66.

Госстрой СССР. (1987). *ЕНиР. Сборник Е9. Сооружение систем теплоснабжения, водоснабжения, газоснабжения и канализации. Наружные сети и сооружения*. М: Стройиздат, выпуск 2.

ГЭСНр 2001-66. (2008). *Наружные инженерные сети. Государственные элементные сметные нормы на ремонтно-строительные работы*. СПб: Росстрой.

Кобелев, Е.А. (2010). Технологии NRG для санации трубопроводов. В: *материалах Международной конференции по бестраншейным технологиям NO-DIG 2010*. Москва.

Минстрой России (2016). *Свод Правил. СП 249.1325800.2016. Коммуникации подземные. Проектирование и строительство закрытым и открытым способами*. Москва.

Орлов, В.А. (2012). *Технологии бестраншейной прокладки и ремонта трубопроводов*. Москва, с.210.

Продоус, О. А. (2004). *Рекомендации по выбору способа и подбору технологического оборудования для бестраншейного ремонта инженерных сетей*. СПб: НИИ АКХ им. К.Д. Памфилова.

Юдина, А.Ф., Верстов, В.В., Бадьин, Г.М. (2013). *Технологические процессы в строительстве: учебник для студентов высшего профессионального образования, обучающихся по программе бакалавриата по направлению подготовки «Строительство»*. Москва: Академия, с.304.

Храменков, С.В., Примин, О.Г., Орлов, В.А. (2008). *Реконструкция трубопроводных систем*. Москва: Ассоциация строительных вузов, с.215.