

УДК 625.7/.8:338.45

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ НАВОДНЕНИЙ НА ТРАНСПОРТНО-ЭКСПЛУАТАЦИОННОЕ СОСТОЯНИЕ АВТОДОРОЖНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ

Дингес Эмилий Викторович, д-р экон. наук, проф.,
МАДИ, Россия, 125319, Москва, Ленинградский пр., 64, dinges@inbox.ru

Гусейналиев Вагиф Алиханович, канд. экон. наук, доц.,
МАДИ, Россия, 125319, Москва, Ленинградский пр., 64, vaqif.madi@mail.ru

Аннотация. В статье рассматривается один из возможных методических подходов к определению степени влияния наводнений на транспортно-эксплуатационное состояние как отдельных дорожных сооружений, так и сети дорог в целом. На конкретных примерах приводятся алгоритмы и примеры расчетов социально-экономических потерь от затопления объектов дорожной инфраструктуры. Показано, что значительный ущерб от затоплений автомобильных дорог может быть ликвидирован или существенно снижен, если предлагаемые методы оценки их последствий будут приниматься во внимание при проектировании параметров сооружений.

Ключевые слова: автодорожная инфраструктура, транспортно-эксплуатационное состояние, оценка влияния затоплений.

ASSESSMENT OF THE IMPACT OF FLOODING ON TRANSPORTATION AND OPERATIONAL STATE OF ROAD INFRASTRUCTURE

Dinges Emiliy V., Dr. Sc., professor,
MADI, 64, Leningradsky Prosp., Moscow, 125319, Russia, dinges@inbox.ru

Guseynaliyev Vagif A., Ph.D., associate professor,
MADI, 64, Leningradsky Prosp., Moscow, 125319, Russia, vaqif.madi@mail.ru

Abstract. The article considers one of the possible methodological approaches to determining the degree of influence of floods on the transport and operational condition of both individual road structures and the road network as a whole. Algorithms and examples of calculations of socio-economic losses from flooding of road infrastructure objects are given on specific examples. It is shown that significant damage from flooding of highways can be

eliminated or significantly reduced if the proposed methods for assessing their consequences are taken into account when designing the parameters of structures.

Key words: road infrastructure, transport and operational condition, assessment of the impact of flooding.

Введение. Определение степени влияния отдельно взятых природно-климатических факторов на транспортно-эксплуатационное состояние дорожных сооружений в условиях практически отсутствия фактической информации между ними является весьма сложной технико-экономической задачей [1]. Хотя ее достаточно точное решение на основе экономико-статистических методов в настоящее время по указанной причине невозможно, тем не менее, может быть предложен косвенный подход к ее приближенной реализации. Этот подход требует применения в качестве исходных положений следующих предпосылок:

1) выражение зависимости между природно-климатическими факторами и транспортно-эксплуатационным состоянием сооружения через величину социально-экономических потерь, обусловленных воздействием этих факторов на условия его функционирования;

2) принятие в качестве основного параметра транспортно-эксплуатационного состояния сооружения скорости по нему транспортного потока [2];

3) определение масштабов влияния природно-климатических факторов на элементы дорожной инфраструктуры в зависимости от расчетно-аналитической интенсивности их воздействия.

Методы оценки. Определение степени влияния наводнений на транспортно-эксплуатационное состояние дорожной сети целесообразно осуществлять как для отдельных сооружений, так и их совокупностей, находящихся в зоне затопления.

В первом случае речь идет об исследовании закономерностей условий функционирования дорожного сооружения в результате подъема воды до определенного уровня, как показано на рис. 1.

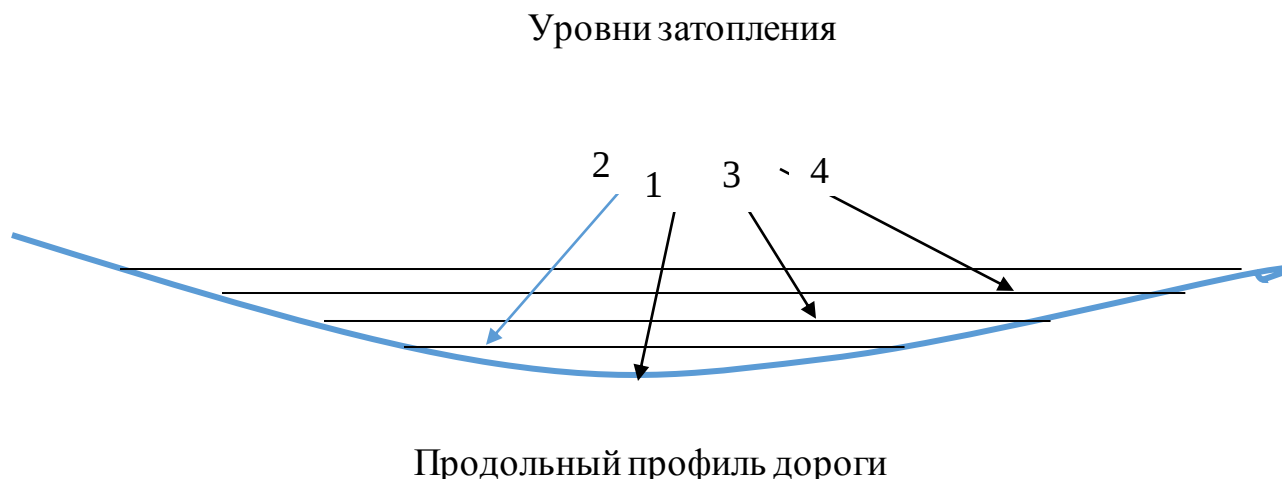


Рис. 1. Схема уровней затопления участка дороги

Во втором случае в рассмотрение принимаются сооружения на всей затопленной территории (рис. 2); при этом условно предполагается, что все эти сооружения в анализируемый период времени имеют один и тот же уровень подтопления.

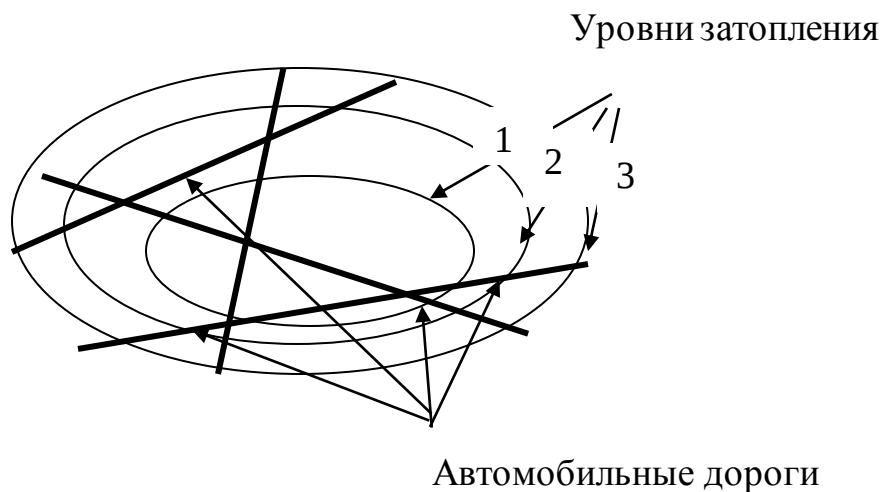


Рис. 2. Схема уровней затопления сети дорог

Очевидно, что при таком предположении никаких принципиальных различий между методами установления степени влияния наводнений на транспортно-эксплуатационное состояние отдельно взятой автомобильной дороги и сети дорог не должно иметь места. Поэтому в дальнейшем данная задача будет решаться только для второго (более общего) случая – затопления некоторой совокупности дорог.

Применительно к оценке влияния наводнений, вызванных дождями или подъемами морской воды, Данная задача может быть сформулирована следующим образом.

Предположим, что известны: уровни и сроки подтопления отдельно взятой дороги или некой сети дорог в результате подъема воды выше поверхности их проезжей части. Также известными величинами являются средние показатели транспортного потока при разных уровнях подтопления. Требуется для данного состава и структуры движения автомобильного транспорта по дороге (или сети) дорог определить величину социально-экономических потерь, вызванных затоплением, а также их динамику в течение рассматриваемого периода времени.

Рассмотрим следующий пример. Допустим, что известны с определенной вероятностью наступления P возможные масштабы (размеры территории) затопления автомобильных дорог S , их территориальная плотность в заданном регионе ρ (принята $1,71 \text{ км/км}^2$), а также высота зеркала воды над уровнем проезжей части дорог h и продолжительность периода их подтопления τ (табл. 1).

Представленные в табл. 1 данные позволяют решить, по крайней мере, два вида достаточно важных задач для оценки последствий от наводнений для дорожной сети.

Таблица 1

Исходные данные для оценки последствий затопления
автомобильных дорог

S, 1000 км ²	L, км	P, доли 1	LP, км	h, см	hP, см	τ, дни	τP, дни
30	51300	0,10	5130	9	0,9	60	6,0
25	42750	0,15	6413	7	1,1	70	10,5
20	34200	0,20	6840	5	1,0	80	16,0
15	25650	0,25	6413	3	0,8	85	21,3
10	17100	0,30	5130	1	0,3	90	27,0
Итого		1,00	29925		4,0		80,8

Первый из них предполагает определение транспортно-эксплуатационного состояния дорожной сети через размеры нанесенного ей социально-экономического ущерба в зависимости от масштабов наводнения (площади и высоты подтопления автомобильных дорог).

Понятно, что для решения данной задачи, с учетом разного режима работы дорожных сооружений, а также условий пролегания их на местности, возможно использование только весьма усредненных показателей. В качестве таких показателей приняты: средняя скорость V и интенсивность движения N при соответствующей высоте подтопления (табл.2).

Таблица 2

Экспертные и расчетные показатели эксплуатации автомобилей
в зависимости от уровня подтопления автомобильных дорог

h, см	9	7	5	3	1
V, км/ч	10	15	20	25	30
N, авт/сут	1704	1619	1538	1461	1388

Состав, структура и показатели себестоимости движения автомобилей определены по их средним значениям до автомобильных дорог III категории в Московской области [4].

Средняя расчетная скорость движения транспортных средств при отсутствии подтопления принята равной 60 км/ч. При определении средней интенсивности движения для каждого уровня затопления предполагалось пятипроцентное ее снижение по сравнению с предыдущим уровнем в связи с недостаточной проходимостью в данных условиях ряда автотранспортных средств.

При оценке социально-экономического ущерба от затопления дорог учитывались только два основных вида потерь: от увеличения себестоимости перевозок грузов и пассажиров ΔC и от увеличения времени пребывания в пути пассажиров ΔP . Формулы их определения в расчёте на 1 км дорог приведены ниже [3].

$$\Delta C = \tau N_t (S_{cpt}^n - S_{jt}^{\phi}), \quad (1)$$

где τ – количество дней затопления дорог в t -м году;

N_t – среднесуточная интенсивность движения автомобилей в t -м году, авт/сут;

$S_{cpt}^n, S_{cpt}^{\phi}$ – средневзвешенная по структуре автотранспортного потока себестоимость пробега автомобилей соответственно в расчетных (нормативных) условиях и в условиях подтопления проезжей части дорог, тыс. руб./км.

$$\Delta P_t = \tau C_t^p \left[\left(N_t^l B^l + N_t^{av} B^{av} \right) \left(\frac{1}{V_{\phi}} - \frac{1}{V_n} \right) \right], \quad (2)$$

где C_t^p – средняя величина потерь народного хозяйства в расчете на 1 чел./ч пребывания в пути пассажиров, руб.;

N_t^l, N_t^{av} – среднегодовая суточная интенсивность движения соответственно легковых автомобилей и автобусов, авт./сут.;

B^l, B^{av} – среднее количество пассажиров в одном легковом автомобиле и автобусе;

V_f, V_n – фактическая и нормативная средняя скорость движения автотранспортного потока по дорожному сооружению, км/ч.

Результаты расчетов показаны в табл.3.

Таблица 3

Определение ущерба от подтопления сети дорог

h, см	ΔC на 1 км		ΔP на 1 км		Π , млн руб.	
	млн руб.	в % от Π	млн руб.	в % от Π	на 1 км	на LP км
1	0,414	44	0,525	56	0,939	4816
3	0,537	45	0,659	55	1,196	7669
5	0,677	45	0,842	55	1,519	10388
7	0,909	45	1,125	55	2,034	13045
9	1,351	45	1,662	55	3,013	15455

Как видно из последней графы табл.3 среднегодовая величина наводнений, приводящих к затоплению дорог в рассматриваемом примере, вызывает большой социально-экономический ущерб. Так, например, величина ущерба от затопления дорог на 9 см выше уровня их проезжей части (с вероятностью 0,1) составляет более 15 млрд руб.

Вместе с тем, при выполнении соответствующих ремонтно-профилактических воздействий (табл. 4), обеспечивающих подъем проезжей части дорог выше указанных отметок подтопления, указанный ущерб от наводнений, имеющих сезонный характер, может быть сведен до

минимума или ликвидирован, как показано графически на рис. 3. При этом срок окупаемости требуемых для этого затрат (табл.4) является весьма низким, что свидетельствует о высокой эффективности инвестиций в обеспечение нормального функционирования, находящейся в зоне подтопления сети автомобильных дорог.

Постановка второй задачи предполагает рассмотрение динамики подтопления сети дорог за сезонный период дождей по установленным его уровням и средней их продолжительности τ_o (табл. 5).

Таблица 4

Виды, стоимости и сроки окупаемости работ по предупреждению затопления проезжей части дорог

h, см	Вид дорожных работ по увеличению отметки проезжей части дороги	Стоимость млн руб./км	Срок оку- паемости
1	Поверхностная обработка	1,2	1,28
3	Поверхностная обработка	1,7	1,42
5	Двойная поверхностная обработка	2,4	1,58
7	Укладка однослойного покрытия	3,2	1,57
9	Укладка двухслойного покрытия	5,0	1,66

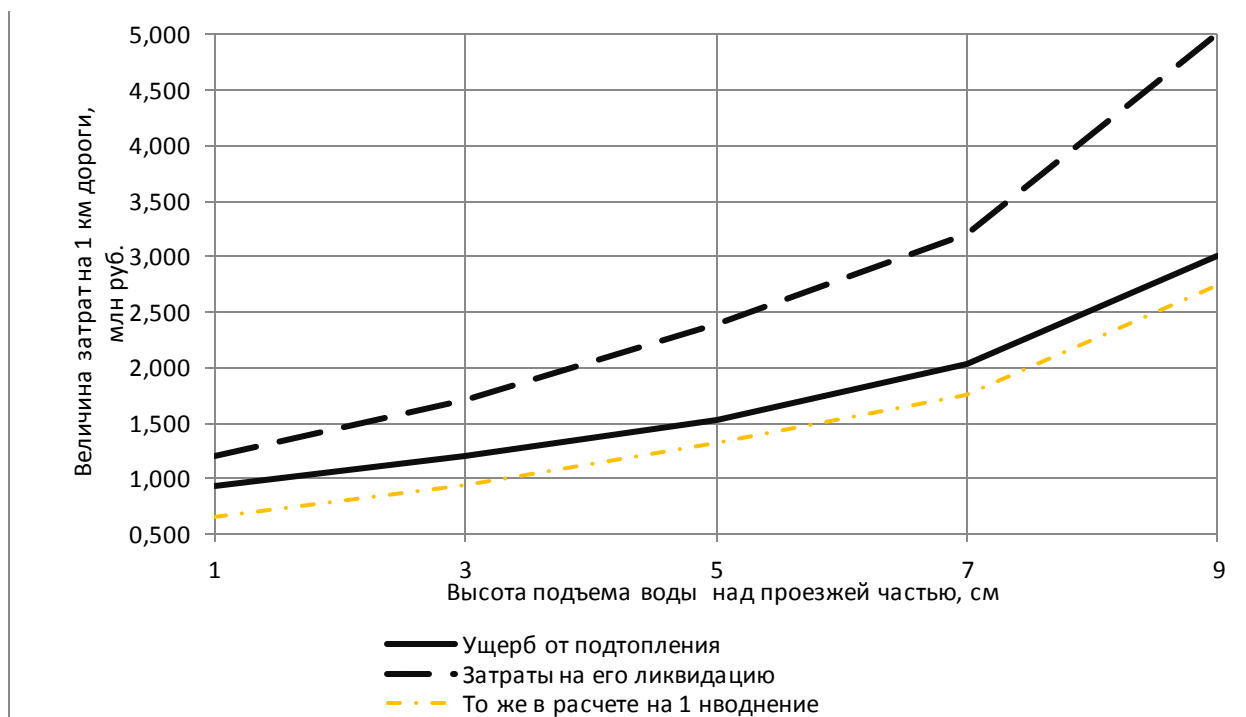


Рис.3. Зависимость социально-экономического ущерба и затрат на его ликвидацию от уровня подтопления дороги

Как видно из табл. 5, в этом случае вероятность всех уровней подтопления принята одинаковой (0,2), а продолжительность каждого уровня подтопления средней по многолетним наблюдениям в Приморском крае.

Таблица 5

Предполагаемая динамика масштабов подтопления проезжей части сети дорог

S, 1000 км ²	L, км	P, доля 1	LP, км	h, см	τ, дни
10	17100	0,2	3420	1	25
15	25650	0,2	5130	3	20
20	34200	0,2	6840	5	20
25	42750	0,2	8550	7	15
30	51300	0,2	10260	9	10

Расчет динамики социально-экономических потерь на основе представленных данных приведен в табл.6. Он свидетельствует о том, что тенденция их изменения в период сезонного наводнения (если судить по показателям прироста $\Delta\P$) не имеет явно выраженного характера, что затрудняет прогнозирование их значений по отдельным временным периодам.

Таблица 6

Динамика ущерба от подтопления сети дорог

h, см	ΔC , млн руб./ км.	ΔP , млн руб./ км.	П, млн руб.		ΔP , млн руб.
			на 1 км	на LP км	
1	0,115	0,146	0,261	893	-
3	0,126	0,155	0,281	1442	549
5	0,169	0,21	0,379	2592	1151
7	0,182	0,225	0,407	3480	887
9	0,193	0,237	0,430	4412	932

Выводы. Проведенные исследования в данном разделе наглядно свидетельствуют о том, что правильная оценка социально-экономического ущерба от подтопления автомобильных дорог имеет очень важное значение для научно-обоснованного проектирования их параметров. Очевидно, что в районах, характеризующихся высокой единовременной интенсивностью выпадения дождевых осадков (что обычно и имеет место при прохождении тайфунов), ориентация на строительство дорожных сооружений по нормам проектирования, не учитывающим данные природные явления, не является правомерным. В таких случаях может оказаться целесообразным при наличии соответствующей доказательной базы (расчётно-аналитических подтверждений) существенное увеличение

капитальной прочности отдельных конструкций мостов и дорог или изменение их объёмно-планировочных решений.

Список литературы

1. Влияние изменения климата на транспортную инфраструктуру, Вашингтон, D.C. Stratus Consulting.: Агентство по охране окружающей среды Соединенных Штатов, 2010.
2. Дингес, Э.В. Методы оценки эффективности дорожных проектов: учебное пособие / Э.В. Дингес, В.А. Гусейналиев. – М.: МАДИ, 2016. – 148 с.
3. Дингес, Э.В. Экономика строительства, ремонта и содержания дорог: учеб. для студ. учред. высш. обр. / Э.В. Дингес. – М.: Издательский центр «Академия», 2014.
4. ОДМ 218.4.023-2015 «Методические рекомендации по оценке эффективности строительства, реконструкции, капитального ремонта и ремонта автомобильных дорог». Росавтодор. – М., 2018.

References

1. *Vliyanie izmeneniya klimata na transportnuyu infrastrukturu* (Impact of Climate Change on Transport Infrastructure), Washington, D.C. Stratus Consulting, Agentstvo po ohrane okruzhayushchej sredy Soedinennyh Shtatov, 2010.
2. Dinges E.V., Gusejnaliev V.A. *Metody ocenki effektivnosti dorozhnyh projektov* (Methods for assessing the effectiveness of road projects), Moscow, MADI, 2016, 148 p.
3. Dinges E.V. *Ekonomika stroitel'stva, remonta i sodержaniya dorog* (Economics of construction, repair and maintenance of roads), Moscow, Izdatel'skiy tsentr «Akademiya», 2014.
4. Metodicheskie rekomendacii po ocenke effektivnosti stroitel'stva, rekonstrukcii, kapital'nogo remonta i remonta avtomobil'nyh dorog ODM 218.4.023-2015 (Methodological recommendations for assessing the effectiveness of construction, reconstruction, overhaul and repair of highways ODM 218.4.023-2015). Moscow, Rosavtodor, 2018 p.

Рецензент: В.В. Ушаков, д-р техн. наук, проф. МАДИ