

УДК 625.8

## РАЗРАБОТКА МЕРОПРИЯТИЙ ПО ИНЖЕНЕРНОЙ ЗАЩИТЕ АВТОДОРОГ НА ПОЙМЕННЫХ УЧАСТКАХ

<sup>1</sup>Рябова О.В., <sup>2</sup>Глаголев А.А., <sup>1</sup>Чан Ван Зы

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Воронежский государственный архитектурно-строительный университет»,  
Воронеж, e-mail: [phuongngoc661986@gmail.com](mailto:phuongngoc661986@gmail.com);

<sup>2</sup>Департамент транспорта и автомобильных дорог Воронежской области,  
Воронеж, e-mail: [Aglagolev@govvrn.ru](mailto:Aglagolev@govvrn.ru)

В статье рассматриваются вопросы защиты дорожных конструкций от паводковых вод в условиях влажного сезона Республики Вьетнам. С учетом особенностей гидрометеорологических факторов предложена схема оценки наиболее уязвимых элементов дорожной конструкции в условиях затопления автодороги и предложена система комплексной противопаводковой защиты, включающей в себя укрепление откосов пойменных насыпей от размыва и устройство поперечного регуляционного сооружения для отвода от насыпи продольного потока воды. Проектно-строительные решения по обеспечению устойчивости конструкций и укреплению земляного полотна в условиях воздействия гидрометеорологических факторов рекомендуется принимать с учетом длительности, частоты и динамики этих воздействий. Например, в условиях затопления или перелива воды учитывать динамическое воздействие водных потоков на укрепляемые объекты; размывы по глубине, причины и степень возможного их развития на пойменных насыпях и по низовому откосу дорожного полотна.

**Ключевые слова:** дорожная конструкция, откосы, гидрометеорологические факторы, паводковые воды, регуляционные сооружения, габионные конструкции, матрацы Рено

## DEVELOPMENT OF ACTIONS BY ENGINEERING SAFEGUARD OF HIGHWAY ON FLOOD PLOT

<sup>1</sup>Ryabova O.V., <sup>2</sup>Glagolev A.A., <sup>1</sup>Chan Van Zy

<sup>1</sup>Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education Voronezh State University  
of Architecture and Civil Engineering, Voronezh, e-mail: [phuongngoc661986@gmail.com](mailto:phuongngoc661986@gmail.com);

<sup>2</sup>Department of Transport and Motorroad Voronezh Oblast, Voronezh, e-mail: [Aglagolev@govvrn.ru](mailto:Aglagolev@govvrn.ru)

In article questions of protection of road designs against flood waters in the conditions of a damp season of the Republic Vietnam are considered. Taking into account features of hydrometeorological factors the scheme of an assessment of the most vulnerable elements of a road design in the conditions of flooding of the highway is offered and the system of the complex antiflood protection including strengthening of slopes of inundated embankments from washout and the device of a cross regulatory construction for branch from an embankment of longitudinal water flow is offered. Design and construction decisions on ensuring stability of designs and strengthening of a road bed in the conditions of influence of hydrometeorological factors are recommended to be accepted taking into account duration, frequency and dynamics of these influences. For example, in the conditions of flooding or a modulation of water to consider dynamic impact of water streams on the strengthened objects; washouts on depth, the reasons and extent of their possible development on inundated embankments and on a local slope of a roadbed.

**Keywords:** road construction, slopes, meteorological factors, the flood waters, regulatory structures, gabion structures, Reno mattresses

Эксплуатация и содержание автомобильных дорог в республике Вьетнам в течение года серьезно осложняется из-за разнообразия климатических факторов, обусловленных географическим расположением территории с 8° до 23° северной широты. И хотя вся страна расположена в тропиках и субтропиках, погода здесь может варьироваться от морозных дней в северных горах до круглогодичной теплоты дельты реки Меконг, поэтому территорию Вьетнама принято подразделять на три климатических района: Северный, Центральный и Южный. С учетом расположения Вьетнама в восточноазиатской зоне муссонов климат в целом можно охарактеризовать

двумя сезонами: влажным и сухим, сроки начала и окончания которых отличаются в этих климатических районах.

В Южном районе Вьетнама сезон дождей длится с мая по ноябрь. Самыми дождливыми месяцами являются июль и август, количество осадков колеблется от 400 до 700 мм. Дожди чаще всего идут днем в виде кратковременных ливней.

В Центральном районе сезон дождей начинается в июле – августе, заканчивается в ноябре – декабре. Самыми влажными месяцами являются сентябрь и октябрь, когда выпадает 400–500 мм осадков. Во влажный сезон нередко вторжения мощных тайфунов, которые за сезон приносят до 3000–3500 мм осадков за год.

В Северном районе дождливый сезон длится с апреля по ноябрь. Максимальное выпадение осадков приходится на летние месяцы и варьируется в зависимости от места от 270 до 450 мм в месяц, а в период с июля по сентябрь выпадает до 80% годовой суммы осадков, составляющей 1400–1700 мм. В горных районах количество осадков за год достигает 3000 мм. С сентября по ноябрь возможны ураганы и сильные ливневые дожди и тайфуны.

На равнины во Вьетнаме приходится всего четверть территории, но именно там сосредоточена основная хозяйственная деятельность и проложены основные транспортные магистрали. Наиболее обширные равнины сформированы дельтами рек Красная (Хонгха в Северном Вьетнаме), длиной 508 км, и Меконг (в Южном Вьетнаме), длиной 250 км, между ними тянется цепочка узких береговых равнин и дельт относительно небольших рек. Все реки Вьетнама имеют дождевое питание. В связи с сезонным распределением осадков максимальные расходы воды на реках изменяются по сезонам, почти точно повторяя картину выпадения осадков. Время наступления паводков (резких и кратковременных подъемов уровня воды) на реках Вьетнама смещается постепенно с севера на юг с максимальной разницей 3–4 месяца. Самый ранний паводок – на севере, в июне – августе, а самый поздний – в центральной части, в ноябре.

А учитывая, что с июля по ноябрь на территории страны часто наблюдаются тайфуны (влажные циклоны с большой силой ветра), то количество выпадающих осадков увеличивается в разы. Такое количество осадков необратимо приводит к наводнениям и затоплениям обширных территорий (рис. 1) наносит при этом многомиллионный ущерб населенным пунктам, районам сельского земледелия, линиям электропередач и связи, а также дорожной сети страны (табл. 1).

Особую опасность паводок, переходящий в наводнение, представляет на пойменных участках, где дороги расположены на грунтовых основаниях, сложенных аллювиальными отложениями, включающими илы, глины, плавучие пески и суглинки, относящимися к слабым грунтам (углы внутреннего трения изменяются в диапазоне от 2 до 10°, сила сцепления – от 4000 до 12000 Па, модуль упругости – от 1 до 5,4 МПа). Такие грунты имеют низкую прочность и сопротивляемость к внешним воздействиям (влаге) и поэтому каждый год после периода паводка приходится проводить ремонтные работы по восстановлению дорожного покрытия и земляного полотна автодорог.

Следовательно, защита и сохранение прочности и устойчивости дорожных конструкций от негативного воздействия природно-климатических факторов влажного сезона Вьетнама становится первоочередной задачей.

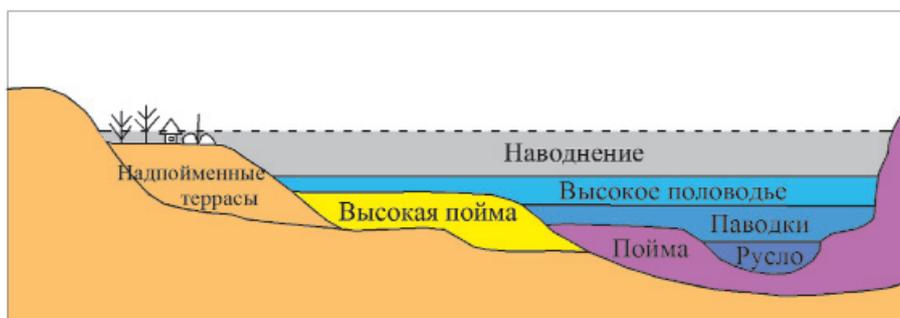


Рис. 1. Схема затопления речной долины

Таблица 1

Ущерб, причиняемый паводками на дельте реки Меконг

Год	Площадь затопленных и нарушенных полей, тыс. га	Нарушенных дорог, км	Сумма ущерба, млн долл.
2000	401342	11477	1955,6
2001	20691	7184	767,9
2002	14019	3861	228,4
2004	3426	–	17,1
2005	2723	870	3,7
2011	27418	7305	2197

В целях защиты территорий от подтопления и разрушения в дорожном строительстве существует достаточное количество типовых мероприятий и сооружений. Это защитные и регулирующие сооружения, к которым относятся русловыправительные работы, водохранилище, руслорегулирующие сооружения, затопляемые и незатопляемые (каменные, бетонные, ж/б, габионные, мобильные) дамбы обвалования; это повышение естественной поверхности земли посредством намыва и отсыпи.

При выборе наиболее эффективного, экономически целесообразного и экологически безопасного способа защиты от воздействия паводковых вод в данной работе учитывалась степень увлажнения дорожной конструкции (неподтопляемые, подтопляемые и затопляемые) и определялись зоны возможного разрушения, в зависимости от этих условий (рис. 2) [1].

В период влажного сезона при выпадении повышенного количества осадков на территории Вьетнама повсеместно наблюдается подтопление и затопление дорожных конструкций, продолжающееся от нескольких часов до нескольких дней.

С учетом этого наиболее уязвимыми становятся следующие зоны дорожной конструкции:

– в случае (а) – неподтопляемые:

I – зона ударного воздействия атмосферных осадков, оттекания поверхностных вод, эрозии, дефляции и других факторов, действующих на поверхность дороги в условиях ее неподтопления;

II – зона концентрации и движения вдоль подошвы дорожного полотна поверх-

ностных вод, стекающих с дороги и прилегающей к ней местности;

– в случае (б) – подтопляемые:

I – то же, что и в случае (а);

III – зона паводкового волнообразования и нагона воды;

IV – зона паводкового или постоянного подтопления;

V – зона подтопления от меженных вод;

VI – зона возможного углубления от развития размыва при сбросе паводковых вод вдоль дороги (пойменных насыпей);

– в случае (в) – затопляемые.

VII – зона возможного динамического, фильтрационного воздействия водного потока, карчехода и углубления от развития местного размыва в условиях затопления или перелива воды;

VIII – зона воздействий на поверхность дорог и скоростей течения водного потока, ледохода, твердого стока и карчехода;

IX – зона воздействий на низовой откос при сливе паводочного стока;

X – зона возможного углубления от развития размывов при воздействии паводковых вод, сливающихся по низовому откосу дорожного полотна.

Анализ данной схемы показывает, что для повышения прочности и устойчивости дорожной конструкции необходимо разработать комплекс защитных мероприятий, способных противодействовать ударно-сдвигающим усилиям, возникающим в слоях грунта земляного полотна и дорожных одеждах от силовых, фильтрационных и размывающих воздействий паводковых вод, карчехода, эрозии [3].

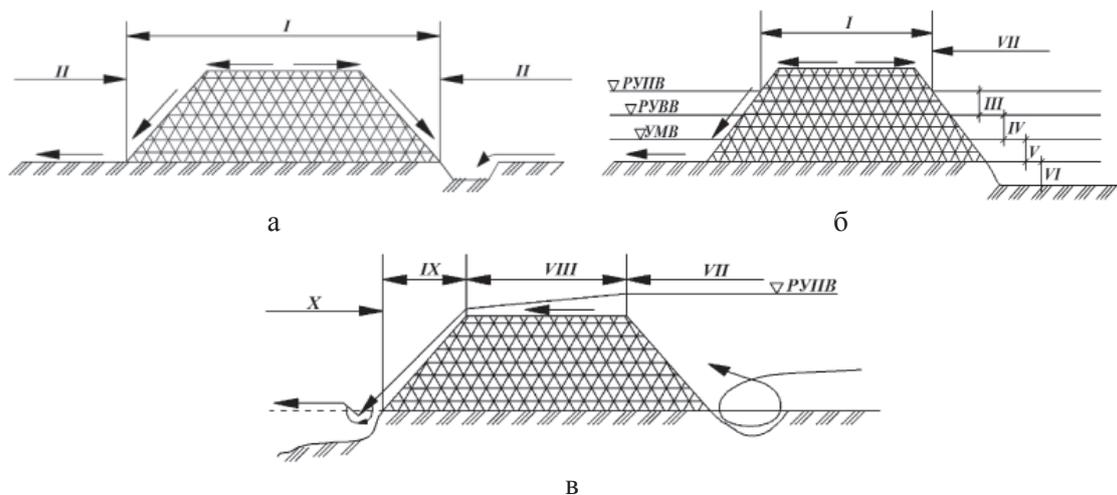


Рис. 2. Зоны гидрометеорологических воздействий на дорожную конструкцию в зависимости от условий работы: а – неподтопляемые; б – подтопляемые; в – затопляемые; РУПВ – расчетный уровень поверхностных вод; РУВВ – расчетный уровень высокой воды (наивысший уровень воды в реке); УМВ – уровень меженных вод (средний уровень воды в реке в период между паводками)

Таблица 2

Рекомендуемые типы укрепления откосов земляного полотна

Типы укрепления	Предельно допустимые критерии факторов гидрометеорологических воздействий		
	длительность подтопления, сут	скорость течения, м/с	высота волны, м
Одерновка сплошная	Менее 20	До 1,2	До 0,3
Одерновка в клетку	Менее 20	До 0,6	До 0,2
Посадка кустарника сплошная	Менее 20	До 2	До 0,5
Лесопосадки	Менее 20	Не более 2	До 0,5

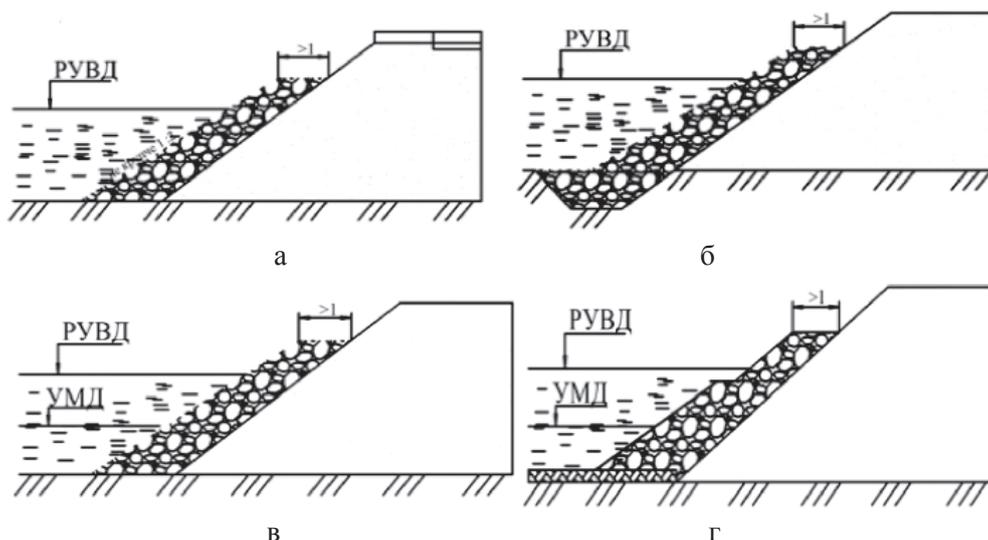


Рис. 3. Укрепление подтопляемых откосов каменной наброской:  
 а – равномерным слоем; б – с упорной призмой; в – с бермой при наличии межвенных вод;  
 г – то же, с тюфячным укреплением

В таких случаях первоочередной задачей становится укрепление откосов земляного полотна от размывов. Достичь этого можно способами, приведенными в табл. 2.

В случае (а) (неподтопляемые конструкции) на пойменных участках, имеющих скорость течения потока более 2 м/с, для обеспечения устойчивости низовой части конструкций насыпи, в случае угрозы ее подмыва или понижения от развития эрозии, рекомендуется применять каменные наброски (рис. 3) [1].

В случаях (б) и (в) (подтопляемые и затопляемые конструкции) при скорости течения водного потока 4–6 м/с и более предпочтительно применять конструкции укрепления из матрасов Рено или габионов (рис. 4).

Выбор таких типов укреплений обоснован следующими соображениями. Этим конструкциям можно придать практически любую форму, а при осадке и давлении грунта они не теряют своих прочностных свойств, при изгибе. При выборе качественных материалов конструкции каркаса и грамотной

установке габионы могут прослужить более ста лет. Для монтажа не требуется масштабных подготовительных работ, блоки заполняются местными грунтовыми и каменными материалами для фильтрации воды, что позволяет сэкономить на строительстве дополнительных дренажных систем. Сквозь габионы могут прорасти растения, оживляя их, делая частью природного ландшафта [2, 3].

Если в случаях (б) и (в) укрепительных мероприятий недостаточно для повышения устойчивости дорожной конструкции в условиях подтопления, то рекомендуется применять специальные регуляционные сооружения.

С учетом того, что за многие века для защиты территорий от подтопления вдоль речных берегов и морского побережья во Вьетнаме были возведены тысячи километров дамб, то наиболее простым и вместе с тем эффективным решением по отводу от откоса насыпи продольного течения воды является устройство поперечного регуляционного сооружения – траверса (шпора) (рис. 5).

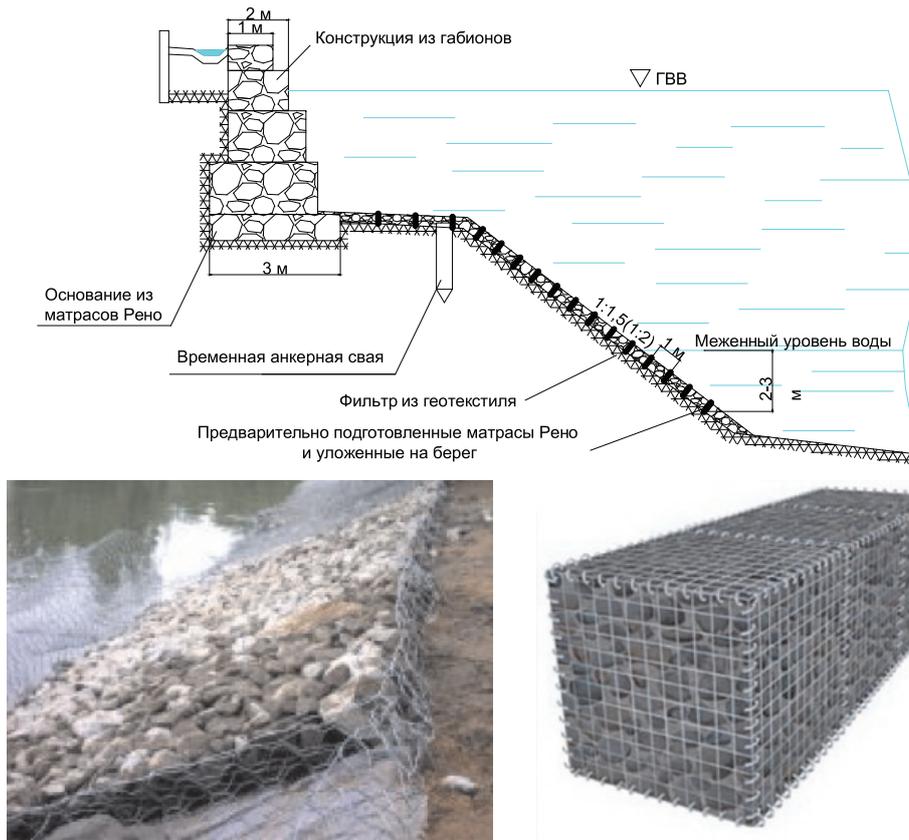


Рис. 4. Укрепление откосов пойменных насыпей от размыва с применением габионных конструкций и матрасов Рено

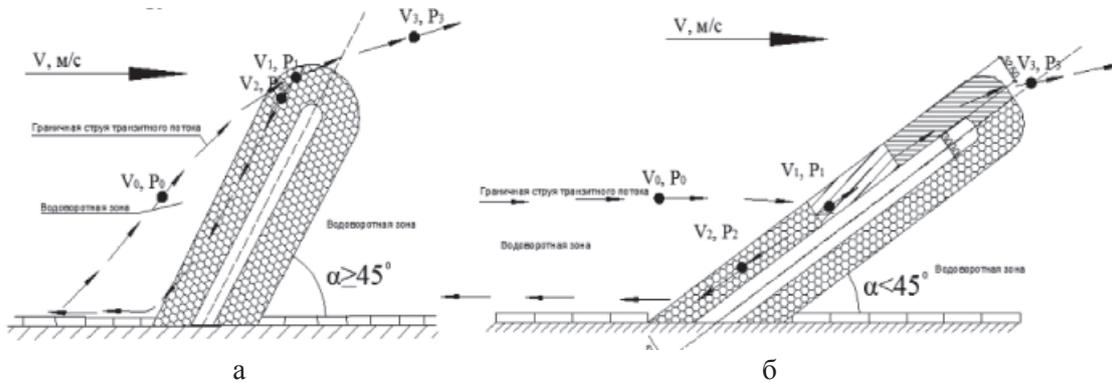


Рис. 5. Направление граничной струи транзитного потока при устройстве траверса:  
а – примыкание под углом  $\alpha \geq 45^\circ$ ; б – примыкание под углом  $\alpha < 45^\circ$

Траверс представляет собой короткую поперечную дамбу, позволяющую отклонить динамическую ось потока и снизить скорость его течения у размываемых откосов, тем самым уменьшить разрушающее воздействие на откосы. Для их устройства чаще всего используют грунт, дерн и небольшое количество камня, в связи с чем обеспечивается снижение стоимости строительства, по сравнению с более мощным укреплением откоса насыпи. В плане, как правило, траверсы располагают перпендикулярно к дорожному полотну. Они, как

и все дамбы, делаются незатопляемыми. Их бровка должна быть также на 25 см выше высокой воды с учетом подпора, волны и поперечного уклона поверхности воды. Ширина поверху траверсов составляет 2–3 м, а в основании 3–4,5 м. Размеры траверса имеют ограничения: ее минимальная длина может быть не меньше четырехкратной глубины воды в ее основании. Только в этом случае местный размыв не будет достигать корня траверса, а вымытый из воронки грунт будет откладываться вблизи корня и с низовой стороны, как показано на рис. 6.

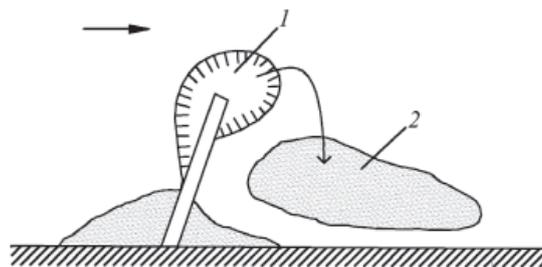


Рис. 6. Схема размыва дна в голове траверса:  
1 – воронка размыва; 2 – отложения вымытого грунта

Наибольшая глубина местного размыва  $h$ , в несвязных и связных грунтах у головы траверса определяется как

$$h = \left( 2 \cdot \frac{V_r}{V_0} K_l - K_\lambda \right) H_r K_m, \quad (1)$$

где  $V_r$  – скорость потока у подошвы головы траверса, м/с;  $H_r$  – глубина потока у подошвы головы траверса, м;  $V_0$  – размывающая скорость для грунтов, в которых происходит размыв, м/с;  $K_l$  – коэффициент, характеризующий увеличение скорости потока в голове траверса при недостаточной длине сооружения;  $K_\lambda$  – коэффициент обтекания траверса потоком, принимаемый равным от 1 до 0,85;  $K_m$  – коэффициент, зависящий от коэффициента заложения откоса траверса со стороны русла.

Размывающая скорость  $V_0$  для грунтов насыпей зависит от видов грунтов и вида грунта

$$V_0 = 1,15 \cdot \sqrt{g} (H \cdot d)^{1/4} K_i, \quad (2)$$

где  $g$  – ускорение свободного падения ( $g = 9,8 \text{ м/с}^2$ );  $H$  – глубина потока воды;  $d$  – средний диаметр частиц грунта;  $K_i = \cos \alpha$  – коэффициент, учитывающий угол  $\alpha$ , образуемый осью траверса с автомобильными дорогами.

Скорость потока в голове траверса определяется по формуле

$$V_r = C_r \sqrt{H_r \delta (ii_m)^{1/4}}, \quad (3)$$

где  $C_r$  – коэффициент Шези,  $\text{м}^{0.5}/\text{с}$ , определяется по коэффициенту шероховатости русла  $n_p$  при глубине потока  $H_r$  по формуле  $C_r = H_r^{1/6} / n_p$ ;  $\delta$  – коэффициент стеснения потока подходами на пойменном участке  $Q_n/Q$ ;  $Q_n$  – расход воды в расчетный паводок, проходящий в бытовом состоянии на  $i$ -й части поймы, перекрытой насыпью;  $i$  – продольный уклон свободной поверхности нестесненного потока в расчетный паводок;  $i_m$  – средний уклон свободной поверхности потока перед насыпью.

Расстояние между траверсами  $L_T$  зависит от длины траверса  $C_T$ , угла растекания потока воды за траверсом  $\beta$ , угла между направлением продольного течения и линией защищаемого участка  $\gamma$  и от угла наклона траверса  $\alpha$  (рис. 7).

При параллельном направлении ( $g = 0$ )

$$L_T = C_T \frac{\sin(\alpha + \beta)}{\sin(\beta)}. \quad (4)$$

При направлении течения под углом ( $g > 0$ )

$$L_T = C_T \frac{\sin(\alpha + \beta - \gamma)}{\sin(\beta - \gamma)}. \quad (5)$$

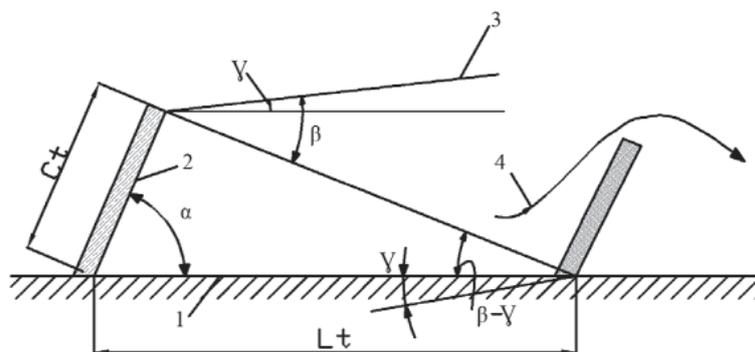


Рис. 7. Схема к определению расстояния между траверсами:  
1 – линия защищаемого участка; 2 – траверс; 3 – общее направление течения потока воды;  
4 – направление течения при обтекании траверса

Также при устройстве данных регулирующих сооружений необходимо учитывать явление возникновения кавитации, которая может привести к дополнительным деформациям и подмыву их головных частей. Физический процесс кавитации близок процессу закипания жидкости.

$$X = \frac{2(P - P_s)}{\rho V^2}, \quad (6)$$

где  $P$  – гидростатическое давление набегающего потока, Па;  $P_s$  – давление насыщенных паров жидкости при определенной температуре окружающей среды, Па;  $\rho$  – плотность среды, кг/м<sup>3</sup>;  $V$  – скорость потока на входе в систему, м/с.

Основное различие между ними заключено в том, что при повышении относительной скорости потока относительно тела понижается давление потока до давления насыщенных паров (вакуума). При этом жидкость вскипает и образуются кавитационные парогазовые пузырьки микроскопических размеров. Кавитационные пузырьки, попадая в область повышенного давления, замыкаются (конденсируются) кумулятивными струйками в точки. В этих точках, а их огромное количество, кумулятивные эффекты приводят к точечному повышению давлений до десятков тысяч атмосфер, с образованием точечных температур в десятки тысяч градусов по Кельвину. Кроме того, резкое (внезапное) исчезновение кавитационных пузырьков приводит к образованию гидравлических ударов и, как следствие, к созданию волны сжатия и растяжения в жидкости с ультразвуковой частотой. Если ударная волна встречает на своем пути препятствие, то она разрушает его поверхность [5].

С учетом этого для гашения скоростей потока вдоль подходной насыпи на пойме следует применять сплошные прямолинейные незатопляемые траверсы, с дополнительным усилением откосов с помощью габионных конструкций, заполненных каменным материалом.

### Выводы

1. Учитывая особенности гидрометеорологических факторов Вьетнама, выражающиеся, как в кратковременных, так и в длительных осадках во влажный сезон, сохранение прочности и устойчивости до-

рожных конструкций в условиях подтопления может быть обеспечено комплексом работ, включающим в себя укрепление откосов пойменных насыпей от размыва и устройство поперечного регулиционного сооружения для отвода от насыпи продольного потока воды.

2. При выборе проектно-строительных решений по обеспечению устойчивости конструкций и укреплению земляного полотна под воздействием гидрометеорологических факторов должны учитываться длительность, частота и динамика факторов гидрометеорологических воздействий; динамическое воздействие водных потоков на укрепляемые объекты; размывов по глубине, причинам и степени возможного их развития в зонах VI, VII и X.

### Список литературы

1. Перевозников Б.Ф. Автомобильные дороги: откосно-прибрежные укрепления автомобильных дорог // Информавтдор. – М., 1993. – Вып. 1. – 79 с.
2. Перевозников Б.Ф. Защита автомобильных дорог от опасных гидрометеорологических процессов и явлений // Информавтдор. – М., 1993. – Вып. 1. – 79 с.
3. Рекомендации по регулированию потока на мостовых переходах через реки с меандрирующими руслами. – М.: ЦНИИС, 1978. – 240 с.
4. Справочная энциклопедия дорожника «Ремонт и содержание автомобильных дорог» / под ред. заслуженного деятеля науки и техники РСФСР, д-ра техн. наук, проф. А.П. Васильева. – М., 2004. – Т. 2. – 1129 с.
5. Чан Ван Зы. Проблемы повышения деформативной устойчивости вьетнамской дорожной сети на переходах через пойму рек // Научный вестник ВГАСУ. Серия «Строительство и архитектура». – Воронеж, 2014. – № 4(36). – С. 103–112.

### References

1. Perevoznikov B.F. Highways: otokosno-coastal strengthenings of highways, Informavtodor, Moscow, 1993, Issue 1, pp. 79.
2. Perevoznikov B.F. Protection of highways against dangerous hydrometeorological processes and phenomena, Informavtodor, Moscow, 1993, Issue 1, pp. 79.
3. Recommendations about regulation of a stream on bridge crossings through the rivers with meandriruyushchy courses, Moscow, TsNIIS, 1978, pp. 240.
4. Help encyclopedia of the road builder «Repair and maintenance of highways». Under edition of the honored worker of science and the RSFSR equipment, the Dr.Sci.Tech., prof. A.P. Vasilyev. Moscow, 2004, Vol. 2, pp. 1129.
5. Chan Van Za. Problems of increase of deformativny stability of the Vietnamese road network on transitions through a flood plain of the rivers The Scientific bulletin of VGASU, Construction and Architecture series, Voronezh, 2014, no. 4(36), pp. 103–112.