



ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
УПРАВЛЕНИЕ ДИСТАНЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ И ПОВЫШЕНИЯ
КВАЛИФИКАЦИИ

Кафедра «Автомобильные дороги»

Методические указания
для магистрантов, обучающихся по
направлению подготовки
08.04.01 «Строительство» по программе
«Автомобильные дороги» для очной и
заочной форм обучения

**«Проектирование и
строительство уникальных
искусственных
сооружений»**

Автор
Николенко М.А.

Ростов-на-Дону, 2018



Аннотация

Проектирование и строительство уникальных искусственных сооружений: методические указания для магистрантов, обучающихся по направлению подготовки 08.04.01 «Строительство» по программе «Автомобильные дороги» для очной и заочной форм обучения.

Автор

к.т.н., доцент, доцент
кафедры «Автомобильные
дороги» Николенко М.А.





Оглавление

Введение	4
1. Виды и классификация искусственных сооружений ...	7
2. Основные правила проектирования искусственных сооружений.....	15
2.1 Состав проекта.....	15
2.2 Основные требования к конструкциям мостов и труб ...	17
2.3 Основные принципы расчета искусственных сооружений.....	18
3 Элементы моста и статические схемы.....	21
4. Особенности эксплуатации искусственных сооружений.....	26
5. Тоннели. Область применения и классификация тоннелей	33
6. Об особенностях проектирования уникальных искусственных сооружений.....	37
Заключение	45
Литература.....	46

ВВЕДЕНИЕ

Искусственные сооружения — наиболее сложная часть железных и автомобильных дорог. Их выполняют двух видов: возводимые над поверхностью земли мосты различного типа и водопропускные трубы, устраиваемые через водотоки и другие препятствия; тоннели, сооружаемые под поверхностью земли на пересечении дорогой гор, высоких холмов и при проложении в больших городах линий метрополитенов.

Мосты строили с древнейших времен. Первоначально они имели простую конструкцию. Их возводили из дерева и камня вручную для пешеходного и гужевого движения. Широкие и глубокие реки оказывались трудными для постройки мостов, которые заменяли паромными переправами или наплавными мостами из плотов или судов.

Деревянные мосты вначале сооружали простыми балочными, затем перешли к более сложным конструкциям.

Каменные мосты выполняли из сводов на массивных опорах. Размер опор по фасаду моста достигал одной трети, а в отдельных случаях даже половины пролета. Кладку осуществляли на известковых растворах или тщательной пригонкой отдельных блоков с укладкой их насухо. Много каменных мостов было построено в XV—XIX вв., и они существуют до сих пор в странах Западной Европы — Франции, Италии, Испании и др. Пролеты мостов достигали 90 м, мосты поражали красотой и совершенством своих форм. В нашей стране каменные мосты строили преимущественно в Закавказье. Некоторые из них сохранились до наших дней.

С началом строительства железных дорог в XIX в. стали сооружать капитальные металлические мосты. Необходимость движения поездов потребовала постройки достаточно прочных и надежных каменных опор. Появились новые конструкции и способы возведения таких мостов, стали применять стальные конструкции и бетон.

Для современного отечественного и зарубежного мостостроения характерно применение сборных предварительно напряженных железобетонных конструкций в автодорожных мостах. При этом решающее значение имело историческое решение партии и правительства в 1954 г. о широком переходе в капитальном строительстве на индустриальные способы с использованием сборных железобетонных и бетонных конструкций.

Были разработаны и получили успешное применение прогрессивные конструкции и методы производства опор на железобетонных сваях, оболочках и столбах. В настоящее время искусственные сооружения выполняют преимущественно сборной конструкции из элементов заводского и полигонного производства. Освоен эффективный навесной способ монтажа сборных конструкций с соединением элементов при помощи полимерного клея. В крупных городских мостах успешно применены новые системы пролетных строений из сборного железобетона, рамно-консольные, арочно-консольные, балочно-неразрезные, вантовые. Массовое строительство искусственных сооружений в виде малых и средних мостов, путепроводов, эстакад, водопропускных труб в настоящее время осуществляют преимущественно по типовым проектам с использованием унифицированных сборных конструкций заводского и полигонного изготовления. После 1965 г. при строительстве новых железных и автомобильных дорог широкое применение получили весьма эффективные трубы из гофрированного коррозиестойкого металла.

В последнее время получен большой опыт строительства искусственных сооружений Байкало-Амурской железной дороги. На всей ее протяженности в 3110 км от станции Усть-Кут на западе до станции Комсомольск-на-Амуре в течение десятой и одиннадцатой пятилеток было построено 126 больших и 815 средних металлических мостов. С применением сборного железобетона построено 1046 малых мостов и 920 водопропускных труб под насыпями. Часть труб выполнена из гофрированного металла. При сооружении мостов впервые в отечественной практике опоры малых и средних мостов, расположенных на вечномёрзлых грунтах, сооружали на железобетонных столбах, опущенных в предварительно пробуренные скважины. На дороге было построено значительное количество подпорных стен, галерей, селеспусков.

Другой распространенный вид искусственных сооружений — тоннели — начали строить в глубокой древности, преимущественно для подачи воды и для военных целей.

Первый горный железнодорожный тоннель длиной 1190 м был построен в 1826—1830 гг. в Англии. В это же время началось строительство таких тоннелей в Швейцарии, Франции, Бельгии, Германии, Италии, США и других странах. Крупнейший в мире однопутный железнодорожный Симплонский тоннель длиной 19,78 км, соединивший Италию со Швейцарией, был построен в 1898—1906 гг.



Железнодорожные тоннели строили различными способами с обделками, защищающими движущиеся поезда от обвалов горных пород, из каменной кладки на известковых растворах, а позднее из бетона.

Первая линия метрополитена была построена в Англии в 1863г. в Лондоне. С этого времени сеть метрополитенов быстро росла. В 1892—1894 гг. были построены линии метрополитенов в Чикаго и Нью-Йорке (США).

1. ВИДЫ И КЛАССИФИКАЦИЯ ИСКУССТВЕННЫХ СООРУЖЕНИЙ

Искусственные сооружения — технически сложная часть строящихся дорог. В зависимости от условий рельефа местности расходы на постройку обычно составляют до 10 % общей стоимости дороги, а иногда, например в горной местности, до 25%. В период эксплуатации искусственные сооружения требуют особо тщательного надзора и ухода.

Наиболее часто встречающиеся на дорогах искусственные сооружения — это мосты и водопропускные трубы, реже — подпорные стены, тоннели, селеспуски, галереи, лотки и т. п.

Мосты состоят из опор и пролетных строений (рис. 1.1). К обоим концам моста примыкает земляное полотно подходов. На многих реках, особенно больших, применяют регуляционные сооружения и укрепления для защиты опор мостов и подходов от размыва высоким паводком воды и ледоходом.

По назначению дорог и роду пропускаемых подвижных нагрузок мосты могут быть: железнодорожные для пропуска железнодорожных нагрузок (см. рис. 1.1); автомобильные для пропуска транспортных средств по автомобильным дорогам; городские для метрополитена, автомобильного, трамвайно-троллейбусного и пешеходного движения; совмещенные для одновременного пропуска железнодорожного и автомобильного транспорта; пешеходные для пешеходов; специального назначения для пропуска водопроводов, газо- и нефтепроводов и каналов.

По условиям расположения на местности различают следующие виды искусственных сооружений:

- путепроводы — на пересечении дорог в разных уровнях (рис. 1.2, а);
- разводные мосты, когда для пропуска судов устраивают разводное пролетное строение, поднимаемое вверх (рис. 1.2, б) или раскрываемое;
- виадуки при пересечении дорогой глубоких и сухих логов, оврагов, горных ущелий, сооружаемые взамен высоких (более 15— 20 м) насыпей (рис. 1.2, в);
- эстакады для пропуска железной или автомобильной дороги в городах над магистральными улицами (рис. 1.2, г), а также при строительстве дорог в сильно заболоченных местах, когда экономически невыгодной оказывается насыпь (на слабых грунтах в основании);

– наплавные мосты с плавучими опорами из понтонов или барж, устраиваемые на широких и глубоких реках, когда постройка постоянных опор не оправдывается размерами движения, а также в случае временной необходимости, например на период постройки капитального моста. Для пропуска по реке судов в наплавных мостах применяют выводные секции, а на период ледохода и ледостава такие мосты разбирают (рис. 1.2, д).

Водопускные трубы (рис. 1.3) — сравнительно простые по конструкции и постройке искусственные сооружения. При насыпи небольшой высоты (до 1 — 1,5 м) и незначительном количестве протекающей воды иногда устраивают лоток.

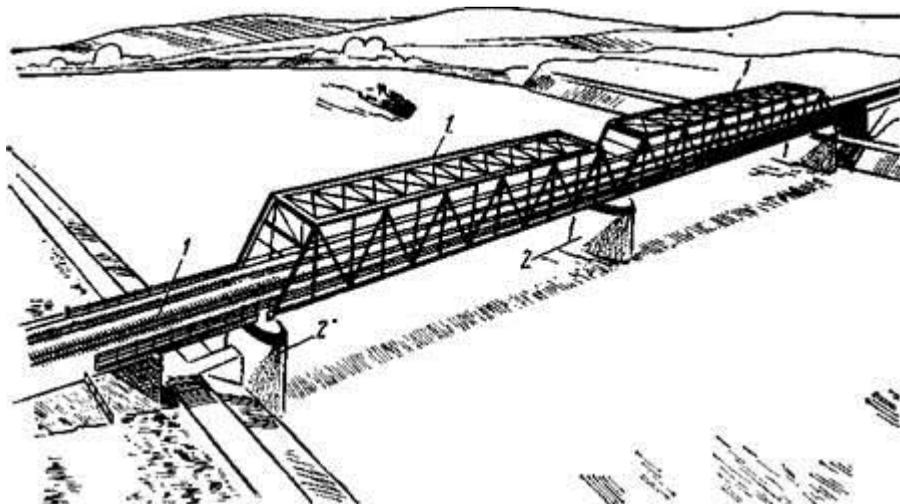


Рис. 1.1. Железнодорожный мост: 1 — пролетное строение;
2 — опора

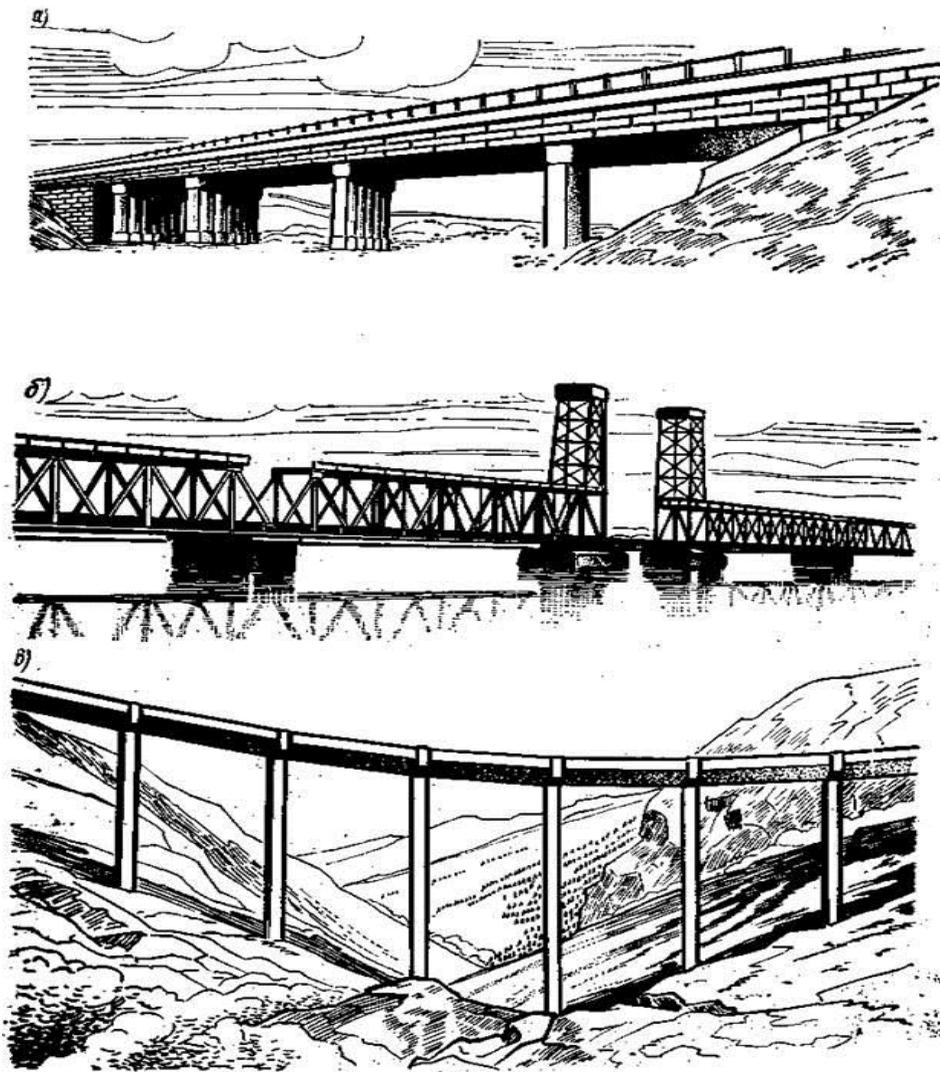


Рис. 1.2. Виды мостов: а — путепровод; б — разводной;
в — виадук;

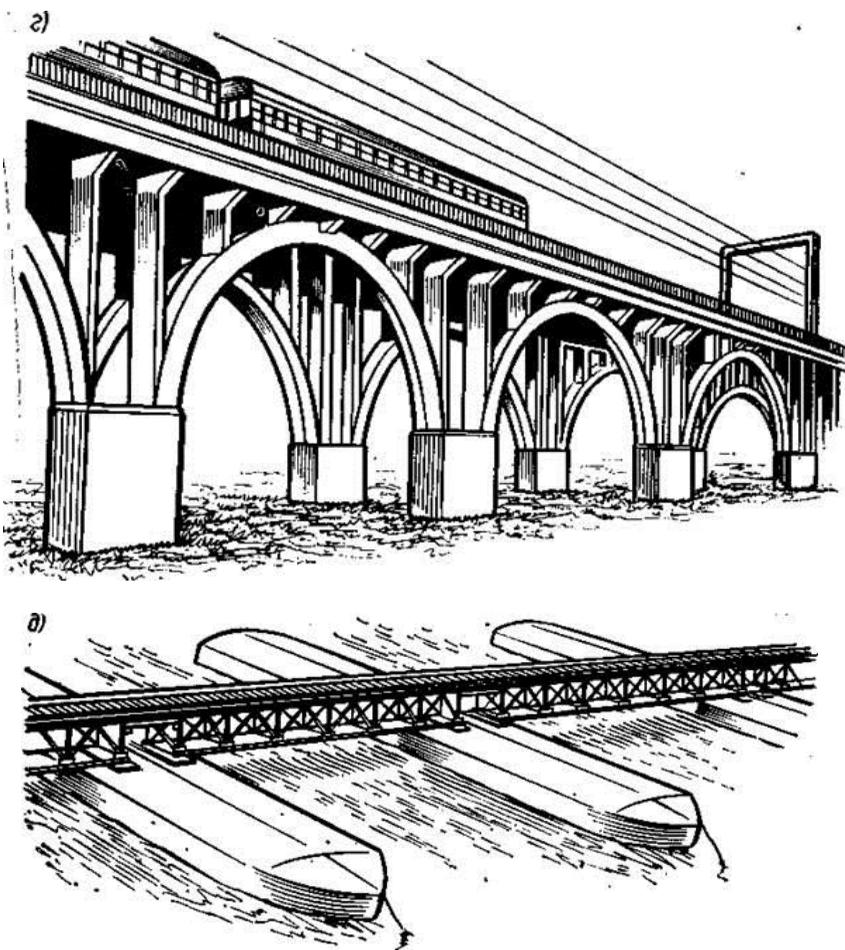


Рис. 1.2. г — эстакада; д — наплавной



Рис. 1.3. Двухочковая водопропускная труба

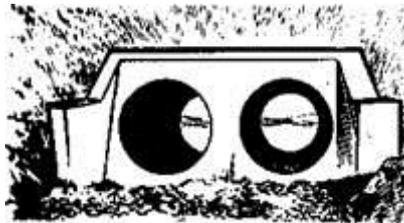


Рис. 1.4. Подпорные стены

Подпорные стены служат для поддержания откосов на сыпех на крутых косогорах, при устройстве дорог в пределах населенных пунктов, для ограждения построек и предохранения от подмыва конусов насыпей и откосов дамб (возле мостов (рис. 1.4).

В горных районах, кроме того, для ограждения полотна дорог от возможных обвалов крупных камней, каменных осыпей, снежных лавин устраивают особые защитные искусственные сооружения — галереи, подпорные и улавливающие стены, а для отвода грязи и каменных потоков (селей), стекающих со склонов гор во время сильных ливней, применяют специальные сооружения — селеспуски (рис.1.5).

По общим размерам, сложности проектирования и способам организации строительства искусственные сооружения принято классифицировать на четыре группы: малые, к которым относятся мосты общей длиной до 25 м, а также водопропускные трубы под насыпями и лотки, средние, полная длина которых до 100 м, а отдельные пролеты не превышают 42 м, большие — длиной свыше 100 м с пролетами более 60 м, очень большие, часто называемые внеклассными или уникальными мостами, возводимыми через большие водные пространства. По количеству возводимых на строящейся дороге сооружений, а также по суммарному объему работ, необходимому для строительства, наибольшее распространение имеют малые и средние искусственные сооружения.

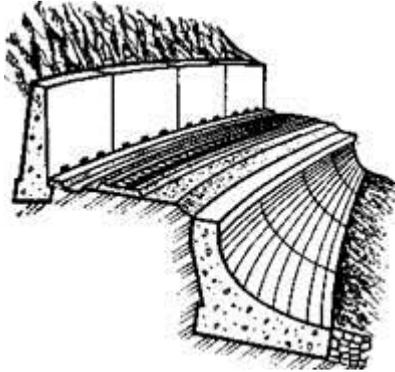


Рис. 1.5. Селеспуки



Рис. 1.6. Железнодорожный тоннель

По сроку службы мосты бывают постоянные и временные. Постоянные мосты проектируют с расчетом непрерывной и круглогодичной их эксплуатации в течение многих десятилетий. Соответственно с этим строят их из долговечных материалов — бетона, железобетона, металла, антисептированного дерева, камня. Конструкции их рассчитывают на наибольшие временные нагрузки, которые возможны не только в настоящий, но и в перспективный период эксплуатации. Временные мосты устраивают облегченными, на небольшой срок эксплуатации, из менее долговечных и менее прочных материалов, например из не пропитанного антисептиками лесоматериала, местного камня и т. п.

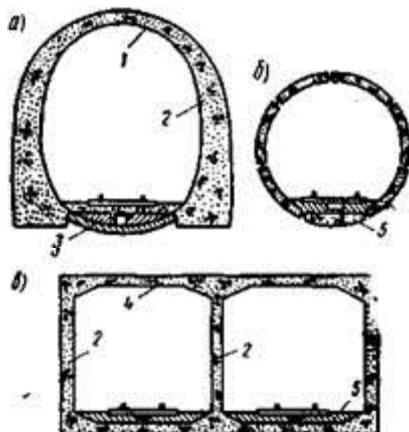


Рис. 1.7. Поперечное сечение тоннельных обделок:
а и в — из монолитного бетона; *б* из сборного железобетона для
 тоннеля, сооружаемого закрытым способом: 1 — свод;
 2 — стены; 3 — обратный свод; 4 — перекрытие; 5 — плоский
 лоток

Комплекс сооружений, устраиваемых на пересечении дорогой постоянно действующего водотока, называют мостовым переходом. В его состав входят мост, земляное полотно, примыкающее к устоям, регуляционные сооружения, направляющие водный поток, подпорные и ограждающие стены, сооружения берегоукрепительные ограждающие и другие.

Тоннель (рис. 1.6) представляет собой искусственное сооружение, расположенное в толще горных пород.

По назначению тоннели подразделяются на транспортные (железнодорожные и автодорожные, городские тоннели метрополитенов, пешеходные и судоходные), гидротехнические, городского хозяйства и горнопромышленные. Наибольшее распространение получили транспортные тоннели, которые по местоположению разделяют на находящиеся в горных массивах, подводные — под реками, каналами, проливами и городские — под городскими проездами и кварталами.

По характеру строительства тоннели могут различаться по способу производства работ: закрытого — строящиеся без вскрытия земной поверхности над ними, и открытого.

Размеры и очертания внутреннего свободного пространства транспортных тоннелей зависят от размеров и формы подвижного



состава и размещаемого в них оборудования. Поперечное сечение тоннелей метрополитенов и железнодорожных (рис. 1.7) определяется требованиями габарита и может быть рассчитано на один путь или два (тоннели для трех путей встречаются крайне редко). Поперечное сечение автодорожного тоннеля определяется категорией дороги и количеством полос движения, а также другими требованиями.

2. ОСНОВНЫЕ ПРАВИЛА ПРОЕКТИРОВАНИЯ ИСКУССТВЕННЫХ СООРУЖЕНИЙ.

2.1 Состав проекта

При проектировании новых и реконструкции существующих искусственных сооружений следует выполнять основные требования СНиП. по обеспечению надежности, долговечности и бесперебойной эксплуатации сооружений, соблюдению безопасности и плавности движения транспортных средств, безопасности для пешеходов, по охране труда рабочих в период строительства и эксплуатации.

Мосты и трубы должны обеспечивать пропуск паводков и ледохода, большие сооружения должны удовлетворять требования судоходства.

В намечаемых решениях следует предусматривать применение прогрессивных конструкций и передовых методов производства работ, направленных на экономное расходование материалов, и особенно металла, цемента, леса, на снижение стоимости и трудоемкости строительства и эксплуатации. Должны быть обеспечены простота, удобство и высокие темпы монтажа конструкций с широкой индустриализацией строительства на базе современных средств комплексной механизации и автоматизации производства.

В разрабатываемых проектах должны широко использоваться типовые решения, применяться сборные конструкции, детали и материалы, отвечающие действующим стандартам и техническим условиям. В проектах следует учитывать перспективы развития транспорта и дорожной сети.

Искусственные сооружения строят на основе технической документации (чертежей, расчетов, пояснительной записки, сметы), имеющей общее название — проект сооружения. Главная задача проекта — выбор правильного места расположения, назначение таких форм и размеров конструкции, которые обеспечили бы достаточный запас прочности и устойчивости сооружения. При этом исходят из того, чтобы металлические и железобетонные мосты можно было нормально эксплуатировать не менее 70—80 лет, а деревянные, за исключением временных сооружений, — не менее 25—30 лет, т. е. учитывают перспективы развития транспорта.

Малые и средние сооружения проектируют в одну стадию — рабочий проект со сводным сметным расчетом стоимости, приме-

няемым для сооружений, строить которые будут по типовым и повторно применяемым проектам, а также для технически несложных объектов.

Для сооружений крупных и сложных существует две стадии — проект со сводным сметным расчетом стоимости и рабочая документация, составляемая позднее с подробными сметами.

Цель проекта — выявить оптимальные конструктивные формы и материал намечаемого сооружения, установить его местоположение, определить основные размеры, объемы работ, стоимость и срок строительства. В проектах больших сооружений обычно разрабатывают несколько вариантов как по месту расположения сооружения, его общим размерам, так и по конструктивным производственно-техническим решениям. В особо крупных с большой стоимостью сооружениях, преимущественно в городских мостах, проектам предшествует технико-экономическое обоснование строительства (ТЭО). В этом случае на основе использования аналогов и предшествующих разработок подобных сооружений выявляются общие очертания моста, примерная стоимость.

В состав ТЭО входят материалы, обосновывающие строительство моста.

Наряду с обоснованием принимаемых конструктивных форм и в состав проекта входит проект организации строительства (ПОС). В нем приводятся общие данные по объемам работ и потребным материалам и оборудованию, принципам организации строительства и методам возведения опор и монтажа пролетных строений, механизации производства работ, а также прилагаются ведомости заказа сборных конструкций и других материалов, оборудования и выявляются сроки строительства.

По разработанным конструктивным формам, выявленным объемам работ определяют стоимость сооружения, составляют сметно-финансовый расчет, который разрабатывают с использованием сметных материалов, учетом местных условий и расценок, учетом дальности доставки материалов, применения сборных конструкций и т. п.

При двухстадийном проектировании после составления и утверждения проекта выполняют разработку рабочей технической документации в виде подробных чертежей с детальным решением конструктивных и технологических вопросов, а также смет по всем элементам мостового перехода.

Принятые конструкции обосновывают необходимыми расчетами и дополнительными материалами по технологии изготовле-

ния и монтажа. Кроме того, составляют расчеты и рабочие чертежи, входящие в состав проекта производства работ (ППР), по всем необходимым вспомогательным устройствам: подмостям, пирсам, причалам, сооружениям строительной площадки и т. п.

При составлении рабочих чертежей не разрешается отступать от принципиальных решений, утвержденного проекта. Утвержденная вместе с проектом сметная стоимость моста является лимитом на весь период строительства.

2.2 Основные требования к конструкциям мостов и труб

Задачи индустриализации и ускорения строительства искусственных сооружений требуют широкого распространения типовых проектов конструкций и технологических правил производства работ. С этой целью основные размеры пролетных строений и опор мостов, а также водопропускных труб рекомендуется назначать, как правило, соблюдая принципы модульности и унификации, придерживаясь стандартных размеров.

При разработке типовых проектов железнодорожных мостов и труб предусматривается возможность их использования при строительстве вторых путей и простой замены пролетных строений на эксплуатируемой сети дорог. Генеральным размером железобетонных пролетных строений является расчетный пролет.

Для автодорожных и городских мостов, расположенных на прямых участках дорог, при вертикальном и перпендикулярном расположении опор генеральным размером рекомендуется назначать полные длины пролетных строений, которые принимаются равными 3, 6, 9, 12, 15, 18, 21, 24, 33 и 42 м, т. е. с модулем 3 м. При больших размерах пролеты назначают кратными 21 м, т. е. 63, 84, 105, 126 м.

Приведенные размеры в виде полных длин принимают для разрезных конструкций пролетных строений длиной до 42 м, выполняемых, как правило, из железобетона.

Для неразрезных пролетных строений, а также конструкций со сквозными главными фермами автодорожных городских мостов приведенные размеры должны отвечать расчетным пролетам. Отступление от приведенных размеров допускается при достаточном технико-экономическом обосновании, особенно при проектировании мостов, возводимых вблизи существующих сооружений, с другими размерами пролетов, а также для многопролетных путепроводов через железнодорожные станционные пути, для отдельных

пролетов больших мостов сложных систем, например для неразрезных рамно-консольных, вантовых и других систем мостов.

В железнодорожных стальных мостах со сквозными главными фермами, как правило, применяют типовые проекты балочных пролетных строений, разработанные для пролетов 44, 55, 66, 77, 88, 110, 132 м. Здесь модуль — стандартная панель проезжей части 5,5 и И м.

Конструктивные формы и размеры опор и их фундаменты устанавливаются по расчету с учетом местных гидрогеологических и инженерно-геологических условий, требований судоходства, а также с учетом способа установки пролетных строений на опоры. На больших реках в условиях судоходства и сильного ледохода опоры следует выполнять массивными — из каменной или бетонной кладки в пределах колебания уровня воды, обтекаемой в плане формы сечения. Глубину фундаментов опор устанавливают в процессе проектирования на основе инженерно-геологических данных с учетом возможного максимального размыва дна реки, определяемого при расчете отверстия моста.

При проектировании путепроводов через автомобильные дороги и улицы городов промежуточные опоры возможно устанавливать на разделительной полосе движения. При ширине ее 6 м и менее должны быть устроены специальные ограждения безопасности конструкции опор.

2.3 Основные принципы расчета искусственных сооружений

Несущие конструкции и основания мостов и труб необходимо рассчитывать на действие постоянных нагрузок и неблагоприятное сочетание воздействий временных нагрузок с обеспечением необходимых запасов прочности и надежности.

До 1963 г. искусственные сооружения рассчитывали, сравнивая напряжения и деформации (определяемые расчетом в отдельных элементах сооружения) от силовых воздействий согласно действующим нормам с допускаемыми напряжениями и деформациями, установленными для выбранного материала конструкций или вида грунта в основании сооружения. Коэффициент запаса по прочности элемента принимали один и его определяли отношением возникающих напряжений при разрушении материала конструкций к допускаемым напряжениям от расчетной нагрузки. Для металлических мостов этот коэффициент запаса, например, принимали равным 2,2—3,0.

В настоящее время применяют более прогрессивный способ расчета мостов и труб — по методу предельных состояний. Стандарт устанавливает основные положения по расчету конструкций из разных материалов и оснований сооружений по предельным состояниям.

Предельными называют такие состояния, при которых конструкция искусственного сооружения или его основание перестает удовлетворять заданным эксплуатационным требованиям или требованиям безопасного производства работ.

Предельные состояния подразделяют на две группы. К предельным состояниям первой группы относят следующие показатели: потеря устойчивости положения конструкции, разрушение любого характера, переход конструкции в изменяемую систему, когда возникает необходимость прекращения эксплуатации сооружения в результате текучести материала, сдвига в соединениях, ползучести или чрезмерного раскрытия трещин, наблюдаются сдвиг или выпирание грунта в основании сооружения, большие просадки опор.

Предельному состоянию второй группы соответствуют возникновение чрезмерно больших деформаций, затрудняющих нормальную эксплуатацию сооружения из-за значительных упругих или остаточных прогибов, осадок, смещений, углов поворота, появление трещин, по своим размерам опасных для эксплуатации и снижающих срок службы сооружения.

Методы расчета искусственных сооружений по предельным состояниям имеют целью не допускать с определенной обеспеченностью наступления предельного состояния при эксплуатации в течение всего срока службы сооружения, а также при производстве работ по его строительству.

Расчет сооружений заключается в сравнении нагрузок в элементах сооружения и основаниях и возникающих усилий и напряжений, а также деформаций, перемещений, раскрытия трещин и т. п. Эти значения не должны превышать предельных значений, установленных нормами проектирования конструкций и оснований.

Основное отличие расчета сооружений по методу предельных состояний от ранее действующего по допускаемым напряжениям состоит в том, что создаваемые в конструкции запасы принимают различными, дифференцированными в зависимости от расчетных нагрузок, возможного сопротивления материала элемента или грунта основания и других условий.

Расчет искусственных сооружений по предельным состояниям позволяет проектировать их более экономично и надежно, чем по старому методу.

При расчете конструкций искусственного сооружения в первую очередь устанавливают согласно данным СП расчетные значения внешних нагрузок (поезда, колонны автомобилей, толпы пешеходов и др.), а также расчетные сопротивления материала, которые применяются в данной конструкции. Эти величины получают умножением нормативных данных на соответствующие коэффициенты: γ — коэффициент надежности по отношению к нормативным постоянным и временным нагрузкам или создаваемым ими условиями; τ — коэффициент условия работы, учитывающий точность расчета и условия строительства и эксплуатации сооружения; η — коэффициент надежности или безопасности, относимый к нормативным сопротивлениям материалов или оснований по грунту; ζ — коэффициент сочетания одновременно действующих различных нагрузок. При одновременном действии на сооружение двух или более временных нагрузок следует умножать расчетные нагрузки на коэффициент, меньший единицы.

3 ЭЛЕМЕНТЫ МОСТА И СТАТИЧЕСКИЕ СХЕМЫ

Основные элементы моста — опоры и пролетные строения (рис. 1.8). Опоры различают: береговые (устои) и промежуточные (быки). Каждая опора воспринимает нагрузку от веса пролетных строений, подвижной нагрузки, проходящей по ним, давления ветра, льда, навала судов. На устои, кроме того, действует вес насыпи подходов к мосту.

Опоры имеют фундамент с надфундаментной частью. Фундаменты возводят с опиранием непосредственно на грунт или, если грунт ненадежен, на специальное искусственное основание. Материалом для опор служат бетонная, железобетонная и каменная кладки, а в редких случаях для верхней части применяют металлические конструкции. Форма и размеры опор зависят от значения и характера нагрузок, передающихся от пролетных строений, собственного веса и веса насыпи, а также определяются условиями прохода под мостом водного потока, ледохода и местными инженерно-геологическими условиями.

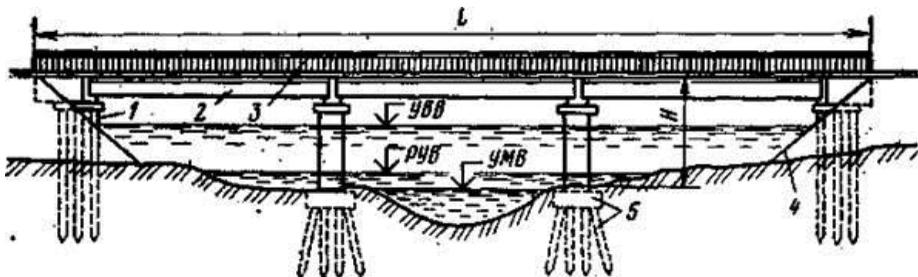


Рис. 1.8. Мост длиной L

1 — береговые опоры (устои); 2 — пролетное строение со сплошными главными балками; 3 — перильные ограждения; 4 — конус насыпи; 5 — свайный фундамент; УВВ — уровень высоких вод; РУВ — рабочий уровень воды; УМВ — уровень меженных вод

Пролетные строения имеют (см. рис. 1.8) главные несущие элементы в виде балок сплошного сечения, сквозных ферм или комбинированных конструкций. На основных несущих элементах располагается конструкция проезжей части моста автомобильного (городского) или мостовое полотно железнодорожного моста.

Главные несущие элементы объединяют связями, обеспечивающими устойчивость и поперечную жесткость пролетного строения.

Основные размеры моста и его элементов следующие: полная длина L ; (см. рис. 1.8) между задними гранями устоев или концами пролетного строения, непосредственно соприкасающимися с насыпью подходов; отверстие моста, обеспечивающее пропуск высокой воды (за вычетом толщины опор), высота H моста, исчисляемая от верха проезжей части или подошвы рельсов до уровня меженных вод; строительная высота H_c — от верха проезжей части до низа конструкции пролетного строения; расчетный пролет, равный при балочном пролетном строении расстоянию между центрами опорных частей, на которые устанавливают балки (фермы); расчетная ширина пролетного строения — расстояние между осями несущих конструкций (ферм или крайних балок); высота тела опор — от верхней площадки до верха (обреза) фундамента; глубина фундамента и др.

Все эти размеры моста и его элементов устанавливают в процессе проектирования с учетом местных инженерно-гидрологических, геологических и судоходных условий, выявленных в процессе изысканий, а также на основе требований по интенсивности движения не только в момент проектирования, но и в более далекой перспективе, соответствующей сроку службы моста. По характеру работы пролетных строений и опор, т. е. в зависимости от статической схемы, различают балочные, рамные, арочные, висячие и комбинированные системы мостов.

Наибольшее распространение имеют балочные системы мостов (балочные мосты). В них пролетные строения в виде сплошных балок или сквозных решетчатых ферм свободно установлены на опорные части, через которые передаются все вертикальные нагрузки на опоры моста. Пролетные строения могут быть балочно-разрезными (рис. 1.9, а), балочно-консольными (рис. 1.9, б) и балочно-неразрезными (рис. 1.9, в). В балочно-разрезной системе изгиб от собственного веса и подвижной нагрузки одного пролетного строения не отражается на изгибе смежных с ним пролетов. Такие системы применяют преимущественно в малых и средних железобетонных и металлических мостах с пролетами до 33 м. В железнодорожных мостах металлические балочно-разрезные решетчатые конструкции пролетных строений распространены для пролетов от 33 до 158 м. Другие разновидности балочных систем (балочно-консольные и балочно-неразрезные) отличаются от балочно-разрезных тем, что нагрузка, расположенная на одном про

летном строении, влияет и на соседние. Это обстоятельство приводит к некоторому облегчению сечений балок или элементов ферм за счет совместной работы конструкции нескольких пролетов.

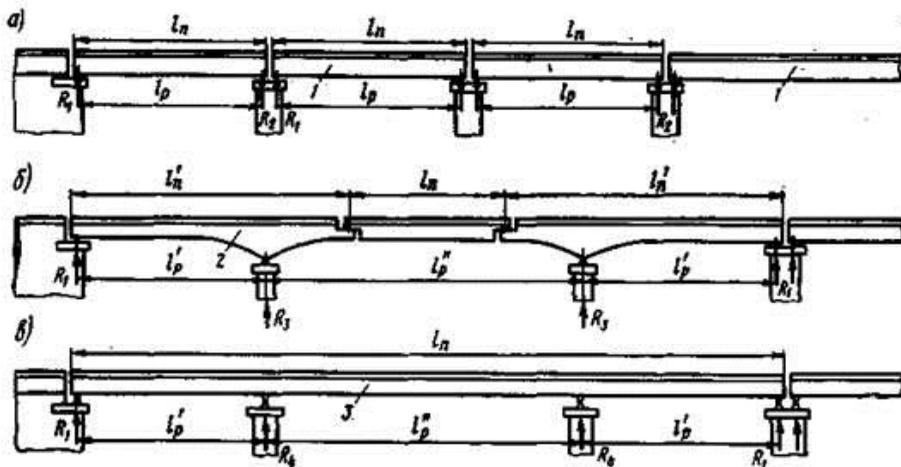


Рис. 1.9. Балочные пролетные строения:
 / — разрезное полной длиной l_n ; 2 — консольно-балочное длиной l_n ; 3 — неразрезное полной длиной l_n ; — расчетные пролеты; R_1, R_2, R_3, R_4 — вертикальные опорные реакции

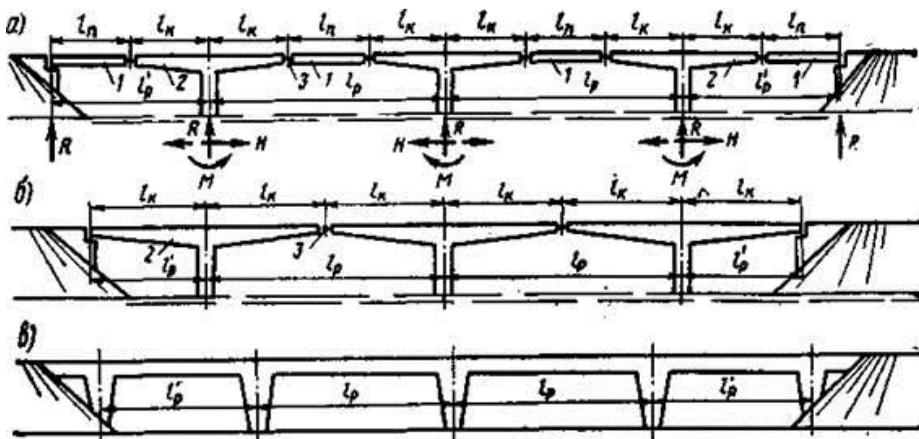


Рис. 1.10. Рамные пролетные строения:

/ — подвесное пролетное строение; 2 — консоль Т-образной рамы; 3 — шарниры; l_p — расчетные пролеты; l_k — длина консоли; l_n — длина подвесного пролетного строения; K, H, M — вертикальная и горизонтальная опорные реакции, изгибающий момент

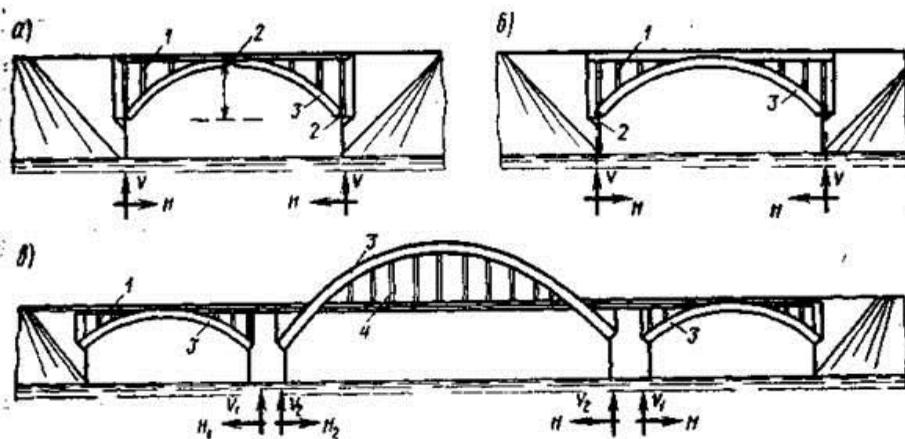


Рис. 1.11. Арочные пролетные строения:

1 — надарочные рамы или стойки; 2 — шарниры; 3 — арки; 4 — подвески

В рамных мостах (рис. 1.10) пролетные строения жестко связаны с опорами. Изгиб от нагрузок с пролетного строения вызывает изгиб опор, т. е. на опоры, кроме вертикальных опорных нагрузок, передается изгибающий момент и горизонтальный распор.

В мостостроении известен ряд конструктивных решений рамных систем: Т-образные рамы с опиранием на их консоли (рис. 1.10, а) подвесных балочных конструкций (рамно-подвесные системы); рамы с соединением смежных консолей (рис. 1.10, б) шарнирами, расположенными в пролете (рамно-консольной системы); неразрезные рамные системы (рис. 1.10, в). Все эти системы применяют, при строительстве путепроводов и больших мостов.

В арочных мостах (рис. 1.11) от собственного веса и подвижной нагрузки, расположенной на пролетном строении, возникают опорные реакции, которые можно рассматривать как равнодействующие вертикальных и горизонтальных составляющих H и V . Горизонтальную силу H называют распором. Арочные пролетные строения могут быть трехшарнирными (рис. 1.11, а), двухшарнирными (рис. 1.11, б) и бесшарнирными (рис. 1.11, в). Бесшарнирные применяют обычно в средних и больших мостах.

В висячих и вантовых мостах пролетные строения (рис. 1.12) устраивают в виде продольной балки (балки жесткости) с расположенной на ней конструкцией проезжей части, поддерживаемой кабелем (стальным канатом или стальной цепью). На опорах устанавливают высокие стойки, называемые пилонами.

По месту расположения проезжей части моста относительно его главных несущих конструкций различают мосты с ездой понизу (см. рис. 1.12, а—в), поверху (рис. 1.12, г) и посередине (см. рис. 1.11, в, средний пролет).

4. ОСОБЕННОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ИСКУССТВЕННЫХ СООРУЖЕНИЙ

Эксплуатация деревянных мостов предусматривает выявление таких дефектов, как неплотности во врубках соединений, трещины, гниение древесины и своевременное их устранение. Наличие сколов, щелей, значительных смятий не допускается. Неплотности врубок устраняют путем установки металлических и деревянных прокладок, а также подтяжкой болтов. Болты и хомуты подтягивают ежегодно, а в мостах, построенных из сырого лесоматериала, в течение первых двух лет эксплуатации не реже 2 раз в год.

После подтяжки резьбу болтов смазывают автолом или солидолом.

В автодорожных мостах изнашиваются доски верхнего настила, образуются щели между ними и выдергиваются гвозди, скрепляющие доски с нижележащим элементом. Кроме того, может ослабляться крепление перильных стоек с наклоном в сторону реки. Изношенные доски заменяют полностью.

При загнивании конструкцию проезжей части вскрывают, а пораженные элементы в зависимости от степени ослабления заменяют или антисептируют. Продольные трещины в древесине от попадания в них влаги и развития гниения зашпаклевают антисептической пастой. Элементы, имеющие глубокие трещины, стягивают хомутами на болтах, а при обнаружении крупных трещин или сколов заменяют новыми. Большое значение в борьбе с загниванием имеет своевременная очистка сооружения от мусора и грязи, удерживающих влагу.

Деревянные элементы антисептируют масляными и водорастворимыми антисептиками, подогретыми до температуры 60—80 °С, путем нанесения их кистями или опрыскиванием из гидропульта 2 раза с перерывом в 2—4 ч. Деревянные сваи опор и ледорезов в уровне грунта защищают от загнивания антисептическими бандажами. Для этого освобожденную от грунта сваю стесывают на глубину 1—2 см от загнивающей древесины и покрывают антисептической пастой, затем весь участок сваи обертывают мешковиной или брезентом, прошивают толевыми гвоздями, края обматывают проволокой и снаружи обмазывают горячим битумом.

Наблюдая за опорами, следят за их наклоном и осадками. Наиболее подвержены деформациям рамно-лежневые и рязевые

опоры. Если наклон превышает $1/100$ высоты опоры, то при закрытом движении по мосту ее выправляют с помощью полиспастов, домкратов или переустраивают.

Вследствие размыва основания возможны осадки и наклон опор. Обычно размыв у опор предотвращают каменной наброской или фашинами. При текущем ремонте деревянных мостов заменяют отдельные элементы — сваи, насадки, прогоны, схватки и др. В зависимости от длины пораженного участка сваю заменяют целиком от насадки до нижней точки загнивания или только частично. Длина новой вставки должна быть не меньше 2,5 м при стыковании вполдерева и 1,5 м при стыковании в торец.

Насадки заменяют одновременно с заменой свай или отдельно. В последнем случае все скрепления снимают и прогоны поддомкрачивают, затем снимают насадку и заводят новую, а прогоны опускают на место и крепят болтами. Прогоны заменяют по всей длине между стыками. Возможна замена прогонов вместе с мостовым полотном путем поперечной сдвижки предварительно собранных конструкций или их установки при помощи кранов. При эксплуатации железобетонных пролетных строений могут возникать неисправности в виде трещин, отколов защитного слоя, раковин и каверн в бетоне, обнажения и ржавления арматуры, выщелачивания раствора, плохого состояния гидроизоляции и водоотводных приспособлений, неплотного опирания балок на опоры и т. п. Трещины в пролетных строениях могут быть технологическими, возникшими при изготовлении конструкций, температурно-усадочными и силовыми от внешних нагрузок. Подавляющее большинство технологических и температурно-усадочных трещин имеют небольшую глубину (1—3 см). Они возникают и обнаруживаются часто не сразу после изготовления конструкций, а через 1—3 года. Спустя 3—5 лет развитие большей части таких трещин, как правило, прекращается; подвижная нагрузка не влияет на раскрытие этих трещин. После покраски поверхности бетона цементным раствором они обычно не возобновляются.

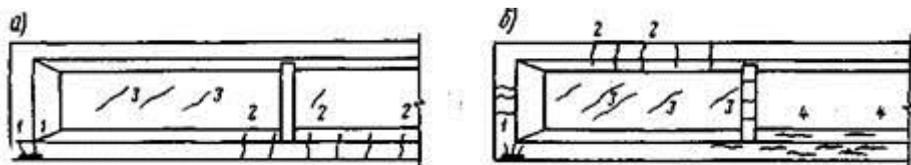


Рис. 18.1. Характерные силовые трещины в железобетонных пролетных строениях

Другая группа трещин, наблюдаемая реже, силового происхождения и возникает, например, при изготовлении предварительно напряженных конструкций из-за чрезмерного обжатия молодого бетона напрягаемой арматурой или появляется в процессе эксплуатации от тяжелых подвижных нагрузок.

Под влиянием проходящей нагрузки трещины могут раскрываться; за ними устанавливают тщательное наблюдение. Для этого трещины обозначают чертой темной краски, проводимой параллельно, ставят гипсовые маяки, а также делают эскизы с обозначением длины, раскрытия и даты обнаружения. В зависимости от этих данных и результатов наблюдения в течение 1—2 лет принимают меры по заделке трещин или проводят более серьезные мероприятия.

В пролетных строениях из железобетона обычного (рис. 18.1, а) и преднапряженного (рис. 18.1, б) вертикальные и наклонные силовые трещины / часто обнаруживают в зоне опорных частей; их раскрытие — примерно 0,05—0,20 мм, длина 20—50 см. Они возникают от вертикальных и горизонтальных сил и поддаются ремонту путем инъектирования полимерным клеем.

В нижних поясах часто наблюдаются вертикальные сквозные трещины 2 в средней части пролетных строений из обычного железобетона. Толщина трещин колеблется от 0,05 до 0,30 мм, а иногда и больше. Они возникают вследствие неучета при проектировании конструкций пониженного сопротивления бетона растяжению. Чем больше обращающаяся нагрузка приближается к расчетной, тем чаще могут обнаруживаться подобные трещины. Трещины толщиной меньше 0,15—0,20 мм не вызывают опасности развития коррозии арматуры. При большом раскрытии должны быть приняты меры предохранения от попадания влаги в трещины. Для этого можно применять полимерные клеи.

Наклонные трещины 3 в стенках балок (см. рис. 18.1) возникают чаще всего в результате совместного воздействия на бетон

главных растягивающих и температурно-усадочных напряжений. Раскрытие трещин наблюдается от 0,02 до 0,20 мм. Трещины могут быть неглубокие, а иногда и сквозные через всю толщину стенки. В этих случаях полезны их герметизация.

Горизонтальные продольные трещины в нижней части стенки и нижних поясах балок, наблюдаемые в преднапряженных пролетных строениях, возникают из-за чрезмерного обжатия и усадки бетона. Подобные трещины появляются не сразу, а спустя несколько лет после начала эксплуатации. Если такие трещины имеют раскрытие не больше 0,15—0,2 мм, то влага сквозь них не проникает. При большом размере раскрытия их нужно заделывать.

Места с обнаруженными отколами защитного слоя, раковинами и кавернами в бетоне, с обнажением и ржавлением арматуры, выявленные при эксплуатации, исправляют путем заделки цементными составами.

Часто в железобетонных пролетных строениях обнаруживают недостатки в водоотводе и протекание гидроизоляции балластного корыта. Подобные дефекты могут привести к излишнему насыщению бетона водой и размораживанию зимой, а также к коррозии арматуры.

Наблюдающееся выщелачивание раствора происходит чаще всего из-за нарушений работы водоотводных устройств и повреждения изоляции. Эти дефекты ликвидируют после вскрытия балласта путем восстановления поврежденного гидроизоляционного слоя и очистки водоотводных трубок. Работы ведут в «окно» или под прикрытием разгрузочных пакетов.

В автодорожных мостах выщелачивание раствора является следствием повреждения дорожного покрытия — трещины и сдвиги в асфальтобетонном слое, закупорка водоотводных трубок.

Для ремонта изоляции вскрывают покрытие и защитный слой, очищают покрытие, защитный слой, трубки и восстанавливают гидроизоляционные слои. Неплотности между бетоном и трубкой заделывают цементным раствором. Раковины, каверны, отставший защитный слой оштукатуривают и наносят торкрет-бетон.

Сущность эксплуатации водопропускных труб состоит в наблюдении за состоянием кладки тела трубы и оголовков, положением звеньев, состоянием укрепления русла на подходе и выходе из трубы, выявлением достаточности отверстия.

Трещины в трубах могут возникать от большого давления грунта, неравномерной осадки фундамента или от динамических воздействий временной нагрузки при малой толщине засыпки над

трубой. Порядок наблюдений за трещинами в трубах тот же, что и в пролетных строениях и опорах мостов.

Лоток в просевшей части трубы выравнивают бетоном или цементным раствором. На зиму во избежание заполнения снегом и обмерзания трубы малых отверстий закрывают деревянными щитами или плетнями.

Перед паводком щиты убирают, а русло очищают от снега для беспрепятственного входа и выхода паводковой воды.

Эксплуатация подпорных стен предусматривает обеспечение нормальной работы дренажей и/правильный отвод воды. Собирающаяся за стенкой вода сильно увеличивает давление грунта на стену, вызывая деформации — смещения, наклоны, трещины. Для предотвращения этого необходимо регулярно очищать водоотводные отверстия.

О плохой работе дренажа свидетельствует наличие мокрых пятен на наружной поверхности стены. Наблюдение за трещинами, осадками, выколами в кладке и ликвидацию этих дефектов в подпорных стенах выполняют так же, как в массивных опорах.

Наблюдение за элементами металлических пролетных строений предусматривает своевременное обнаружение трещин в основном металле или сварных швах, ослабления заклепок, искривления элементов, коррозии металла и других дефектов. Трещины обнаруживают визуально, а в отдельных случаях — при помощи лупы.

Внешними признаками, указывающими на наличие трещин, являются полосы ржавчины красно-бурого цвета, проходящие вдоль трещины, и ржавые потеки. Окраска в этих местах трескается, шелушится. Образовавшуюся трещину следует засверлить по концам, а затем перекрыть накладками на высокопрочных или точечных болтах.

Заклепочные соединения систематически проверяют, чтобы выявить расшатаны ли заклепки. Слабыми считают заклепки, которые имеют дрожание по звуку, по ощущению пальца или бойка при простукивании их молотком массой 0,2—0,3 кг. Для выяснения качества слабых заклепок рекомендуется выборочно срубить отдельные заклепки. Удалять их лучше всего газовой срезкой головки, высверливанием или спиливанием. Взамен удаленных заклепок в ответственных местах конструкций ставят высокопрочные болты.

Наблюдения за прямолинейностью элементов металлических мостов заключаются в выявлении искривлений. Прямолинейность элементов проверяют с помощью тонкой проволоки, натягиваемой вдоль элемента.

Для предотвращения коррозии элементов металлических пролетных строений необходимо своевременно очищать их от грязи, сора и систематически окрашивать. В отдельных случаях эффективным может быть устройство дренажных отверстий для спуска воды, а также шпаклевка узких щелей. Дренажные отверстия диаметром не меньше 23 мм устраивают в местах застоя воды, но при условии, что они не будут ослаблять рабочего сечения элемента. Значительно ослабленные коррозией элементы нужно заменять.

Опорные части должны содержаться в чистоте, иметь плотное опирание и правильно работать. Подвижные опорные части предохраняют от засорения, закрывая футлярами, а катки и плоскости их качения от ржавления натирают графитом.

Содержание мостового полотна предусматривает наблюдение за состоянием рельсового пути (с проверкой по шаблону и уровню), которое должно удовлетворять требованиям, предъявляемым к пути на перегонах. Профиль пути должен быть плавным, без переломов и впадин.

На металлических мостах рельсовый путь в профиле имеет подъем в середине не больше $1/2000$ пролета на участках скоростного движения поездов, и не больше $1/1000$ пролета на прочих.

На железобетонных пролетных строениях подъем рельсового пути не устраивают. Ось рельсового пути должна совпадать с осью пролетных строений с отклонением не более 5 см.

Для уменьшения динамического воздействия подвижного состава на мосты следует устраивать возможно меньшее количество стыков рельсов, а лучше применять бесстыковый путь и длинномерные рельсы.

При устройстве мостового полотна на балласте его толщина должна быть не больше 25 см. Содержание мостов в суровых климатических условиях, т. е. при низких отрицательных температурах воздуха в течение продолжительного зимнего периода, при наличии вечномёрзлых грунтов и наледных явлений, имеет свои особенности. Сооружения, построенные в этих районах, эксплуатируют с сохранением грунтов в мерзлом состоянии или с предварительным (или же последующим) их оттаиванием. Так как водопропускные сооружения чаще всего возводят главным образом с сохранением в основании мерзлого состояния, то в этих случаях не рекомендуются планировки грунта, которые могут вызвать нарушение торфяно-мохового покрова. Сохранению вечной мерзлоты способствует покрытие откосов насыпи береговых опор моста



слоем теплоизоляции или применением специальных охлаждающих устройств. Очень часто деформации сооружений происходят из-за пучения грунтов. Для предотвращения этих деформаций вокруг фундаментов устраивают теплоизоляционные подушки, заменяют пучинистый грунт на непучинистый. Большие трудности при эксплуатации мостов вызывают наледи, которые могут заполнять отверстия мостов и труб, а иногда оказывать непосредственное воздействие на конструкцию опор или пролетного строения.

5. ТОННЕЛИ. ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ И КЛАССИФИКАЦИЯ ТОННЕЛЕЙ

Тоннели — сложный для осуществления и дорогой вид искусственных сооружений, достаточно широко применяемый при строительстве железных и автомобильных дорог. По своим конструктивным формам, размерам и условиям строительства тоннели в транспортном строительстве отличаются от других видов подобных сооружений — гидротехнических, коммунальных, промышленных, горно-разведочных и специального назначения.

Горные тоннели могут быть перевальными, сооружаемыми через высокие водоразделы; косогорными, прокладываемыми вдоль склонов гор; петлевыми и спиральными, сооружаемыми для развития трассы дорог в горных условиях.

В крупных городах в нашей стране с населением более 1 млн. жителей, сооружают метрополитены. Как наиболее удобный вид городского пассажирского транспорта тоннели метрополитенов прокладывают в городах по направлениям наибольших пассажиропотоков.

При устройстве метрополитенов в пределах застроенных участков городов они прокладываются под поверхностью земли, иногда по геологическим и топографическим условиям на большой глубине. На окраинах городов устраиваются наземные участки на так называемых «вылетных» линиях, предназначенных для связи метрополитенов с пригородными электрифицированными железными дорогами.

Городские пешеходные тоннели сооружают в местах интенсивного уличного движения для обеспечения движения потоков городского транспорта и пешеходов в разных уровнях и для повышения безопасности движения.

Элементы тоннелей. Тоннель любого назначения размещается в горной выработке — искусственно созданной полости в толще земной коры. Грунты, слагающие земную кору, принято называть в тоннелестроении горными породами. Горные выработки могут быть горизонтальными, наклонными и вертикальными. При строительстве горных тоннелей и метрополитенов горизонтальные или с небольшим уклоном выработки делаются для основных подземных сооружений. Горизонтальные выработки небольшой длины называют камерами. Наклонные выработки необходимы для эскалаторных тоннелей, вертикальные — для стволов

шахт. Горизонтальная или наклонная горная выработка, как правило, небольшого сечения, предназначенная для производства строительных работ, называется штольной и сооружается в первую очередь. Вертикальная горная выработка, имеющая выход на поверхность земли, носит название ствола шахты. В большинстве случаев стволы оставляют в качестве постоянных сооружений для вентиляции тоннелей и других эксплуатационных целей. Начало и конец тоннеля ограничиваются порталами.

Торцовая поверхность горной выработки, где ведется разработка породы, называется забоем. Верхняя (сводчатая) часть горизонтальной или наклонной выработки носит название колотты, остальная часть — штроссы. Выработка ограничивается внизу пошовой, вверху — кровлей, с боков — стенами.

Очертание и обделка тоннелей. По характеру строительства тоннели могут быть закрытого способа работ, строящиеся без вскрытия земной поверхности над ним, и открытого — в создаваемых котлованах.

Размеры и очертания внутреннего свободного пространства — горной выработки транспортных тоннелей — зависят от размеров и формы подвижного состава и размещаемого в них оборудования. Поперечное сечение железнодорожных тоннелей и тоннелей метрополитенов определяются требованиями габарита и может быть рассчитано на один или два пути (тоннели для трех путей встречаются крайне редко).

Поперечное сечение автодорожного тоннеля определяется классом дороги и числом полос движения, а также другими требованиями — подвеска контактного провода, устройство освещения, сигнализации.

При сооружении тоннеля породу удаляют по всему его поперечному сечению. Пространство, образованное после удаления породы, называют тоннельной выработкой. Тоннельные выработки, как правило, закрепляют по всему контуру или частично как на время производства работ, так и для постоянной эксплуатации.

Конструкцию, служащую для постоянного закрепления тоннельной выработки, называют обделкой. Входные звенья обделки горных тоннелей, называемые порталами, несколько выдвинуты вперед. Очертание обделки внутри тоннеля может быть подковообразным для горных тоннелей, круговым для глубоких тоннелей метрополитенов закрытого способа работ, прямоугольным для тоннелей мелкого заложения открытого способа работ и др. Обделка обычно состоит из свода или плоского перекрытия, стен и обрат-

ного свода или плоского лотка. При благоприятных гидрогеологических условиях обделку горных тоннелей делают неполной, т. е. без обратного свода (лотка) или только с верхним сводом.

Обделки в настоящее время возводят из монолитного или сборного железобетона и чугуна. Монолитную обделку применяют преимущественно для горных тоннелей, имеющих сложное очертание поперечного сечения.

Сборную железобетонную обделку в виде блоков или тюбингов широко применяют при закрытом способе сооружения метрополитенов и в отдельных случаях в горных тоннелях, а при открытом — в виде блоков отдельных сборных элементов (например, стены и блоки перекрытия) или цельносекционных блоков. Чугунную, а иногда и стальную обделку применяют с щитовым способом проходки в слабых породах, при значительном горном давлении, большом притоке грунтовых вод и наличии на поверхности зданий и сооружений, осадка оснований которых недопустима.

Комплекс сооружений тоннеля. Нормальная эксплуатация тоннеля обеспечивается комплексом согласованно работающих подземных и наземных сооружений и устройств, состав которых зависит от назначения, протяженности и места расположения тоннеля.

Железнодорожные и автодорожные тоннели, равно как и метрополитены, кроме железнодорожного пути или полотна проезжей части, должны иметь водоотводные, вентиляционные, оградительные и защитные сооружения и устройства, обеспечивающие безопасность движения и обслуживающего персонала.

Водоотводные устройства необходимы для удаления из тоннеля воды, проникающей через обделку или поступающей из водопровода при уборочных работах. Выполняются они в виде продольных лотков или труб, прокладываемых посередине или сбоку тоннеля.

Вентиляционные сооружения предназначены для очистки воздуха в тоннелях. Конструкция и состав этих сооружений зависят от системы вентиляции и длины тоннеля. При искусственной вентиляции могут сооружаться вентиляционные стволы, подземные камеры или наземные здания для вентиляторов.

К оградительным и защитным сооружениям относятся порталы, облицовочные и поддерживающие стены вдоль откосов предпортальных выемок, улавливающие стены и надолбы с оградительными валами и траншеями на пологих склонах, галереи в припортальных полувыемках на крутых косогорах, где имеется опасность обвалов, осыпей и лавин.

К водозащитным сооружениям относятся водосборные и водоотводные каналы на склонах гор, прорезаемых тоннелем, поверхностные и подземные дренажи.

К устройствам, обеспечивающим безопасность движения, относятся электрическое освещение тоннелей, оповестительная и заградительная сигнализации, телефонная связь, противопожарные установки и т. п.

Метрополитены из всех типов тоннелей отличаются наиболее сложным комплексом сооружений и устройств. Основными сооружениями метрополитена являются перегонные тоннели, станции, вестибюли, тяговые и понизительные электроподстанции, вагонные депо.

Для нормальной эксплуатации перегонных тоннелей необходимы вспомогательные сооружения: камеры для водоотливных установок, вентиляционные камеры и тоннели, вертикальные стволы вентиляционных шахт. В местах выхода перегонных тоннелей на поверхность устраиваются рампы — открытые выемки с подпорными стенами.

Станции метрополитена предназначены для посадки в поезд и высадки пассажиров и осуществления эксплуатационным персоналом функций, связанных с движением поездов. Станционные тоннели делаются большего поперечного сечения, чем перегонные. В них размещается одна или несколько пассажирских платформ, к которым примыкают лестничные спуски, наклонные тоннели с эскалаторами. Под платформами и в специальных камерах оборудуются служебные помещения. Вестибюли могут быть наземными с расположением пола пассажирского зала примерно на уровне тротуара улицы и подземные. В подвальной части вестибюля при наличии эскалаторов устраивают машинное помещение.

К подземным вестибюлям примыкают подходные коридоры, часто совмещаемые с пешеходными переходами под улицами и площадями.

Тяговые и понизительные электроподстанции предназначены для питания электроэнергией тяговых двигателей электропоездов, двигателей экскалаторов, вентиляционных, водоотливных и других установок, устройств освещения, связи и СЦБ.

Вагонные депо размещаются на поверхности и соединяются с тоннелями метрополитена вытяжной веткой. Депо имеет необходимое путевое развитие и здание для составов электропоездов. При депо строят производственные мастерские службы пути, сооружения СЦБ и связи, электроснабжения эскалаторов, склады и служебно-бытовые помещения.

6. ОБ ОСОБЕННОСТЯХ ПРОЕКТИРОВАНИЯ УНИКАЛЬНЫХ ИСКУССТВЕННЫХ СООРУЖЕНИЙ

Виды большепролетных, высотных и других уникальных зданий и сооружений определены Градостроительным Кодексом Российской Федерации (гл.6, ст.48.1 «Особо опасные, технически сложные и уникальные объекты»). Большепролетными зданиями и сооружениями [1] являются здания и сооружения, покрытия которых выполнено с применением большепролетных конструкций размером более 36 м.

Высотными зданиями и сооружениями являются здания и сооружения высотой более 75 м.

К уникальным относятся здания и сооружения, удовлетворяющие следующим условиям:

- используются конструкции и конструктивные схемы с применением нестандартных или специально разработанных методов расчета, или требующих проверки на физических моделях;
- здания и сооружения, возводимые на территориях, сейсмичность которых превышает 9 баллов.

К уникальным относятся здания и сооружения с высотой превышающей 100 м, или с величиной пролета более 100 м, или с вылетом консоли более 20 м, или если заглубление подземной части относительно планировочной отметки земли более чем на 15 м.

К уникальным зданиям и сооружениям относятся также спортивно-зрелищные, культовые сооружения, выставочные павильоны, торговые и развлекательные комплексы и другие с расчетным пребыванием внутри объекта более 1 000 человек или более 10 000 человек вблизи.

Техническое задание на проектирование уникальных, большепролетных и высотных зданий и сооружений должно содержать следующую информацию:

- обоснование научно-технического сопровождения проекта трехстадийного проектирования, экспертизы на всех этапах, разработку нескольких вариантов концептуального проекта, затрат на проверку основных расчетов и инженерных решений дублирующей проектной бригадой;
- согласование расходов на моделирование, а в необходимых случаях и на проектирование, строительство и испытания крупномасштабной модели;

- подтверждение дополнительных геодезических и инженерно-геологических изысканий;
- описание участка строительства и расположенных вблизи строений; обоснование обследований близлежащих зданий, укрепления их оснований и фундаментов, несущих и ограждающих конструкций;
- описание особых условий строительства;
- определение степени ответственности сооружения, назначение коэффициента ответственности;
- сведения о конструкциях, инженерном оборудовании и материалах; обоснование комплексного мониторинга и включения в проект новых разделов «Паспорт объекта» и «Требования к эксплуатации объекта»;
- задание на подготовку Специальных Технических Условий (СТУ) на проектирование, строительство и эксплуатацию объекта;
- другая (дополнительная) информация.

Особенности предпроектной подготовки. Еще до начала проектных работ должны быть решены определенные вопросы. Заказчик на предпроектной стадии должен получить необходимые документы:

- выбор площадки и отвод земельного участка;
- градостроительное задание;
- разрешение на подключение к инженерным сетям.

На предпроектном этапе необходимо провести геодезические и инженерно-геологические изыскания, которые должны включать в себя геофизическое обследование участка застройки. Это даст возможность решить вопрос о принципиальной пригодности земельного участка для строительства. Геофизики и геологи должны подробно описать свойства несущих и подстилающих слоев грунта, гидрогеологическое состояние основания, дать обоснованный геотехнический прогноз.

На стадии предпроектной проработки собирается и обрабатывается информация о существующих подобных проектах.

Нагрузки, воспринимаемые уникальными, большепролетными и высотными зданиями и сооружениями. Конструкция должна воспринимать любые виды и сочетания нагрузок: распределенные и сосредоточенные, постоянные и временные, статические и динамические, силовые и кинематические, тепловые и прочие агрессивные воздействия окружающей среды. Покрытия уникальных,

большепролетных и высотных зданий и сооружений находятся под действием собственного веса, снеговых и ветровых нагрузок, а также технологических нагрузок от оборудования, нагрузок предварительного напряжения и монтажных нагрузок. Могут возникать температурные воздействия на элементы конструкции, если используются материалы с различным коэффициентом линейного расширения.

На моделях проводят аэродинамические исследования, чтобы определить неблагоприятное влияние ветровой нагрузки и ее пульсирующие усиления. С учетом статистических данных принимается снеговая нагрузка, причем для большинства покрытий она учитывается с коэффициентом 1,5 по сравнению с обычными сооружениями.

Для висячих конструкций покрытий необходимо учитывать кинематические воздействия, которые в некоторых случаях могут вызывать внутренние усилия значительно большие, чем от силовых воздействий.

Учитывается возможное увеличение технологических нагрузок. Для уникальных зданий и сооружений, как правило, принимается коэффициент надежности равным 1,2 в связи с повышенной ответственностью.

Особенности расчетов. Уникальные, большепролетные и высотные здания и сооружения при расчетах необходимо рассматривать как единые пространственные системы, в которые входят основания и фундаменты, каркас и покрытие. Обязательной составной частью должны быть расчеты на статические и динамические нагрузки на конструкцию и ее элементы при изготовлении и транспортировке. Отдельные элементы конструкции могут оказаться более загруженными при монтаже, чем при полной расчетной нагрузке, поэтому в проекте необходимо особое внимание уделять последовательности монтажа. Должна быть подтверждена пространственная устойчивость и надежность системы на всех этапах ее изготовления и монтажа. В концептуальном проекте применяются приближенные методы расчетов, которые дают возможность понять и почувствовать работу конструкции и далее от «ручных» методов переходить к более точным компьютерным расчетам. На стадии «Проект» определяются сечения основных элементов и происходит переход от сложной к упрощенной схеме, а затем последовательно добавляются усложняющие элементы и определяется их влияние на работу конструкции в целом.

На стадии рабочего проектирования расчетная схема максимально приближается к действительной единой пространственной системе.

Широкое применение в расчетах получили численные методы, дающие возможность успешно применять современную вычислительную технику. Эти методы позволяют учесть различные виды нагрузений, особенности конструкции, геометрию поверхности земли, переменные сечения элементов, проемы в конструкции и другие особенности. Во многих случаях удается применять стандартные вычислительные комплексы. Для достижения достаточной точности необходимо сравнивать результаты, полученные по разным программам.

Расчетная схема сооружения представляет собой идеализированную модель, максимально соответствующую реальному сооружению.

Как правило, расчеты уникальных зданий и сооружений выполняются в геометрически нелинейной постановке, при этом не применим принцип независимости действия сил. В этом случае необходимо вести пошаговое нагружение конструкции и каждый раз фиксировать изменение ее формы и способность воспринимать дополнительную часть нагружения.

Для уникальных, большепролетных и высотных зданий и сооружений необходимо проводить расчеты на воздействие ветровой нагрузки. В связи с геометрической и физической нелинейностью, а также большим размером конечно-элементной модели динамический расчет конструкции представляется достаточно сложным. Однако его обязательно следует проводить, поскольку существуют системы, устойчивость которых нельзя определить статическими расчетами. Уменьшить динамическую реакцию в системах большепролетных и высотных зданий и сооружений можно соответствующими конструктивными решениями – ввести дополнительные оттяжки или демпфирующие устройства.

Большое внимание при проектировании уникальных, большепролетных и высотных зданий и сооружений необходимо уделять защите их от прогрессирующего обрушения. Именно поэтому особенно тщательно необходимо учитывать нагрузки на колонны, а также на конструкции фундаментов. Следует предусматривать необходимые мероприятия при возникновении аварийных ситуаций, в том числе на этапах строительства и эксплуатации здания.

Специальные технические условия (СТУ). Требования к разработке СТУ и их содержание определены Приказом Минрегиона

РФ от 01.04.2008 г. № 36 «О порядке разработки и согласования специальных технических условий для разработки проектной документации на объект капитального строительства».

Приказом определено, что если для составления проектной документации недостаточно требований, установленных нормативными документами, или требования не установлены, то разрабатываются и согласовываются СТУ.

Специальные технические условия относятся к техническим нормам, содержащим дополнительные требования к конкретному объекту в области безопасности. Технические условия разрабатываются трех видов – на проектирование, строительство и эксплуатацию объектов.

Разработка технических условий проводится в соответствии с техническим заданием, в котором должно быть приведено краткое обоснование целесообразности разработки СТУ, сведений об уровне ответственности здания в соответствии с существующими нормами, а также требования, связанные с технической и пожарной безопасностью. Специальные технические условия должны содержать следующие данные:

- обоснование целесообразности разработки СТУ и недостающих нормативных требований, излагаемых в соответствии с действующими техническими нормами;
- перечень отступлений от действующих нормативов, и список мероприятий, компенсирующих эти отступления;
- описание объекта и его основных элементов с изложением конструктивных и объемно-планировочных решений;
- дополнительные требования необходимо отнести к определенному нормативному документу либо его разделу.

При этом отдельные положения нормативных документов других стран могут использоваться в составе СТУ, если они соответствуют законодательству Российской Федерации.

Научно-техническое сопровождение (НТС) проектирования уникальных, большепролетных и высотных зданий и сооружений.

Проектирование уникальных, большепролетных и высотных зданий и сооружений требует обязательного комплексного научно-технического сопровождения.

Целью НТС при проектировании и строительстве уникальных, большепролетных и высотных зданий и сооружений является

обеспечение безопасности людей, объекта строительства и надежности возводимых конструкций. В задачи научно-технического сопровождения входит:

- прогноз состояния зданий и сооружений с учетом всевозможных видов воздействий;
- прогноз состояния объектов, находящихся в зоне строительства;
- разработка конкретных решений по устранению нарушений, установленных при мониторинге проектных решений;
- разработка научно-обоснованных и оптимальных решений, участие в определении проектно-конструкторских решений;
- разработка технических рекомендаций, не вошедших в действующие нормативные документы.

Проведение НТС включает в себя следующий состав работ:

- Оценка результатов инженерно-геологических изысканий.
- Участие в проработке концепции проектируемого объекта.
- Анализ проектной документации для улучшения конструктивных и объемно-планировочных решений.
 - Уточнение перечня конструкций и наиболее ответственных узлов для выполнения их мониторинга.
 - Проверка выполненных расчетов по объекту, включая вероятность прогрессирующего обрушения и составление рекомендаций для защиты от него.
 - Составление программы проведения НТС строительства и заданий на различные мониторинги.
 - Оценка пригодности конструкций, выполненных с отклонением от проекта, обоснованная соответствующими расчетами и дополнениями.
 - Составление рекомендаций по улучшению технологии и производству строительного монтажа и применению эффективных материалов.

На стадии проектирования особая роль отводится НТС по защите от прогрессирующего обрушения зданий и сооружений.

Уникальные, большепролетные и высотные здания и сооружения должны быть защищены от возникновения чрезвычайных аварийных ситуаций, к ним относятся опасные природные метеорологические явления, возникновение карстовых воронок, провалов в основаниях зданий и сооружений, техногенные и антропогенные чрезвычайные ситуации, взрывы внутри или снаружи

здания, аварии или пожары, а также повреждения систем несущих конструкций.

Устойчивость здания от прогрессирующего обрушения необходимо проверять расчетами и обеспечивать конструктивными мероприятиями. Расчет устойчивости объекта следует проводить на различные сочетания нагрузок с учетом локальных разрушений.

Экспериментальные исследования физических моделей уникальных, большепролетных и высотных зданий и сооружений.

Комплексное научно-техническое сопровождение на стадии проектирования уникальных зданий и сооружений включает изготовление и испытание физической модели сооружения.

Исследование уникальных конструкций на моделях включает следующие мероприятия:

- определение напряженно-деформированного состояния, несущей способности и надежности конструкций;
- проверку расчетной модели и методики расчета;
- экспериментальное исследование особенностей работы конструкций, трудно поддающихся решению математическими методами.

В задачу экспериментальных исследований входит:

- определение и анализ усилий, деформаций и перемещений в элементах модели покрытия, экспериментальный расчет конструкций;
- исследование влияния различных особенностей на работу конструкции;
- определение предельного состояния объекта и вычислительный эксперимент по оценке запаса его несущей способности.

Исходя из этого, разрабатывают рабочую программу и методику проведения эксперимента, проектируют и изготавливают физическую модель, проводят экспериментальные исследования. Для конструкций здания применяют механическое моделирование на геометрически и физически подобных моделях. Условием подобия является напряженно-деформированное состояние модели и реального объекта. Крупномасштабные модели уникальных объектов в большинстве случаев испытывают в упругой стадии на статические нагрузки.

Для определения физико-механических характеристик испытывают образцы материалов, из которых изготовлена модель. Учитывают отклонения при обработке экспериментальных данных, уточняют масштабные множители, критерии и индикаторы подобия, определяют степень приближенного моделирования.

Каждое испытание рекомендуется несколько раз повторять (не менее трех) при одних и тех же условиях. Для регистрации результатов испытаний используют автоматические программные комплексы. После обработки данных их пересчитывают на реальный объект и выводят в виде таблиц и эпюр усилий и перемещений.

На последнем этапе испытания модель может быть доведена до разрушения. В предельном состоянии, кроме анализа причин разрушения, выполняют сопоставление предельной экспериментальной нагрузки и расчетной.

Экспертиза проектов. При существующем порядке государственная экспертиза выполняется только на стадии «Проект». Для уникальных же сооружений необходима обязательная независимая экспертиза Концептуального Проекта и законченной рабочей документации перед сдачей ее в производство. Цель такой экспертизы в снижении вероятности фатальных ошибок.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Повышение эффективности мостостроения и тоннелестроения в нашей стране в соответствии с решениями требует дальнейшего совершенствования и широкого внедрения прогрессивных конструкций и технологий, осуществления комплексной механизации работ на основе научно-технического прогресса, повышения производительности труда, снижения стоимости и материалоемкости сооружений.

Для успешного решения этой задачи научные и проектные организации ведут разработку новых типовых проектов сооружений, а строители внедряют гибкую технологию массового строительства на основе применения унифицированных конструкций преимущественно заводского изготовления, используют инвентарную технологическую оснастку для строительства скоростными методами.

Создается номенклатура эффективного оборудования достаточно универсального вида для применения в различных условиях.

Большая творческая работа ученых, проектировщиков и строителей направлена на дальнейшее развитие и совершенствование промышленных методов мостостроения и тоннелестроения.

ЛИТЕРАТУРА

1. "Градостроительный кодекс Российской Федерации" от 29.12.2004 N 190-ФЗ (ред. от 21.10.2013) (с изм. и доп. от 07.06.2013 N 113-ФЗ, вступившими в силу с 05.12.2013).

2. Еремеев П.Г. Особенности проектирования уникальных большепролетных зданий и сооружений. // Строительная механика и расчет сооружений. 2005. № 1.

3. Еремеев П.Г. Предотвращение лавинообразного (прогрессирующего) обрушения несущих конструкций уникальных большепролетных зданий и сооружений при аварийных воздействиях. // Строительная механика и расчет сооружений. 2006. № 2.

4. СТО 36554501-024-2010. Обеспечение безопасности большепролетных сооружений от лавинообразного (прогрессирующего) обрушения при аварийных воздействиях /ОАО НИЦ «Строительство».

5. ТР 182-08. Технические рекомендации по научно-техническому сопровождению и мониторингу строительства большепролетных, высотных и других уникальных зданий и сооружений. М.: ГУП НИИ Мосстрой, 2008. 34 с.