

СТРОИТЕЛЬНЫЙ ПОДЪЕМ ПРИ РАСЧЕТЕ КОНСТРУКЦИЙ МОСТОВ С УЧЕТОМ СТАДИЙ ВОЗВЕДЕНИЯ

При проектировании необходим учет влияния деформаций ползучести и усадки бетона, особенно для конструкций, сооружаемых навесным методом. Важными являются не только ограничения, связанные с обеспечением равенства отметок консолей с левой и правой сторон пролета, но и архитектурные требования, которые должны соблюдаться, как на момент открытия движения, так и на весь срок эксплуатации моста. Все эти условия заставляют искать оптимальные формы сооружения при проектировании и точно определять величины строительного подъема.

1. РАСЧЕТ БЕЗ УЧЕТА СТРОИТЕЛЬНОГО ПОДЪЕМА

Сооружение неразрезных пролетных строений мостов без использования сплошных подмостей обычно включает несколько последовательных стадий монтажа. В качестве примера рассмотрим возведение по схеме «пролет за пролетом». Строительство четырехпролетного балочного моста начинается с сооружения первого пролета с небольшим консольным участком во втором пролете. При расчете необходимо так же учитывать дополнительное длительное воздействие монтажных нагрузок с последующими деформациями ползучести (рис. 1).

Для расчета на стадии монтажа последующего пролета существуют различные возможности сопряжения с существующей консолью. Модуль CSM (менеджер стадий строительства), входящий в состав пакета SOFiStiK позволяет при расчете учитывать 3 возможных типа сопряжения (рис. 2, опция CTRL CANT).

Опция CANT 2 используется для расчета пролетных строений, сооружаемых методом уравновешенной навесной сборки, CANT 0 — для обычных сооружений (здания).

В рассмотренном примере во избежание «скачков» поверхности моста используется опция CANT 1. Это приводит к тому, что горизонтально располагаемые блоки второго пролета

достигнут опоры 3 с отметкой меньшей, чем предполагалось моделью (чертежом). Демонтаж подмостей пролета №2 вызовет дополнительные перемещения в конструкции, в то время как монтажная нагрузка предыдущей стадии (рис. 1) удаляется.

В последующих стадиях учитывается монтажная нагрузка, приходящаяся на конец консоли в пролете №3, а также последующие деформации ползучести (рис. 3).

Необходимо обратить внимание на перелом, возникающий в сопряжении групп №1 и №2 — он возникает из-за поворота сечения консоли на момент сооружения второго пролета.

Аналогичным образом процедура повторяется для пролетов №№3 и 4 — активируется дополнительный вес и учитываются деформации ползучести до ввода в эксплуатацию (рис. 4).

2. УЧЕТ СТРОИТЕЛЬНОГО ПОДЪЕМА

Целью данного этапа расчета является достижение нулевой деформации на конечной стадии за счет включения строительного подъема в расчет. В менеджере стадий строительства (CSM) пакета программ SOFiStiK реализованы 2 метода, описанные в п.п. 2.1 и 2.2.

2.1. Расчет строительного подъема для линейных систем

В линейных расчетах строительный подъем не оказывает влияния на усилия, возникающие в системе. Таким образом, деформации от нагрузок, приложенных в п. 1 к рассмотренной системе, могут быть преобразованы после расчета (для проверки создается копия оригинальных загрузений).

В расчетах, учитывающих строительный подъем полезно в первую очередь активировать элементы, не прилагая к ним собственный вес, с целью получения отметок блоков на подмостях (без учета веса бетона).

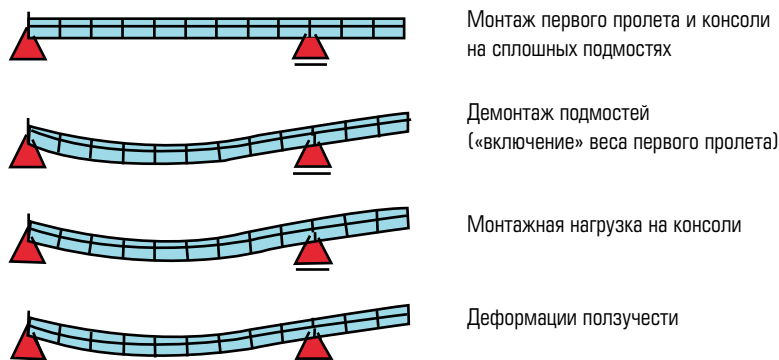


Рис. 1. Последовательность возведения «пролет за пролетом»: монтаж первого пролета без строительного подъема

Для этого CSM предоставляет возможность включения собственного веса стадией позже, после активации элементов группы.

Следуя изложенным принципам, расчет начинается с невесомой группы №1, с включением веса на стадию позже. Полные перемещения системы при использовании модифицированного алгоритма CSM дают представление о требуемой величине строительного подъема блоков группы №1 (рис. 5).

Верхняя схема на рис. 5 отражает необходимые форму и отметки строительного подъема на первой стадии, однако необходимо понимать, что податливость элементов опалубки и подмостей вызовет дополнительные деформации в момент укладки монолитного бетона или установки блоков.

Так же, расчет может быть продолжен для последующих пролетов. Наибольший интерес представляют стадии установки блоков на подмости (без учета веса бетона) на стадиях №19 и 29 Удивительно, насколько большим должен быть строительный подъем на стадии №19 для достижения нулевой деформации на стадии №35 (рис.6).

2.2. Учет строительного подъема в нелинейных системах

При выполнении нелинейного расчета необходимо (например, для висячих мостов) учитывать взаимосвязь между строительным подъемом и усилиями в конструкции. Для таких задач расчет строительного подъема выполняется итерационным методом. Это так же требует не только корректировки результатов расчета перемещений, но и учета действительных изгибных деформаций элементов на момент их первой активации. Менеджер стадий строительства SOFiStiK на первом цикле (CHAM MODE NONL) определяет их исходя из деформаций на момент открытия движения при первой итерации, на втором цикле CSM добавляет деформации на момент первого включения группы элементов. Таким образом, в конце этого цикла, перемещения на момент ввода в эксплуатацию будут близки к нулевым. Продолжением итерационного процесса нулевое отклонение на момент открытия движения может быть достигнуто с заданной точностью.

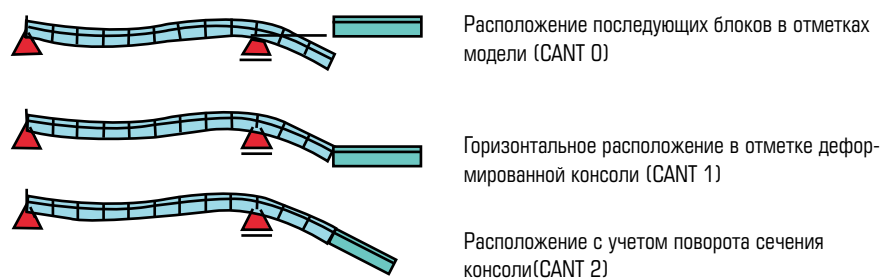


Рис. 2. Монтаж последующего участка: возможности учета сопряжения с предыдущей стадией

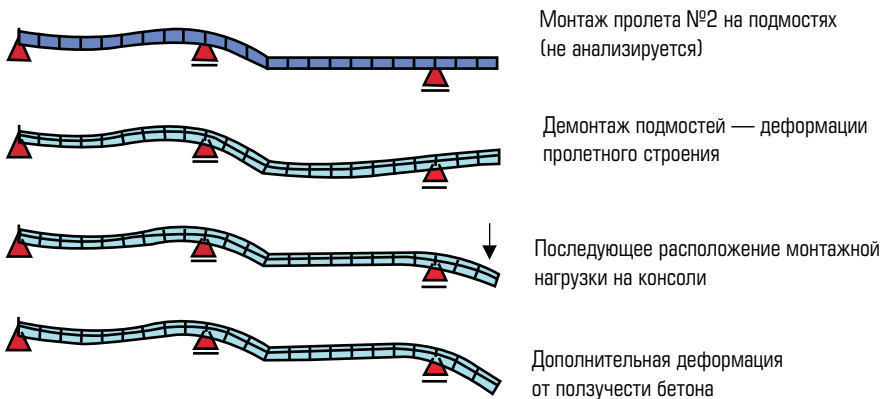


Рис. 3. Монтаж «пролет за пролетом»: возведение второго пролета без учета строительного подъема

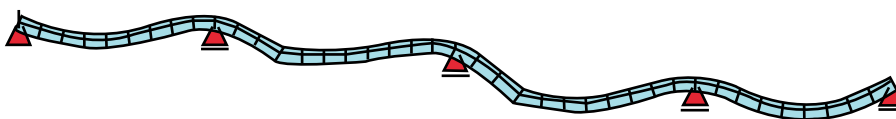


Рис. 4. Полное расчетное перемещение на момент ввода в эксплуатацию без учета строительного подъема

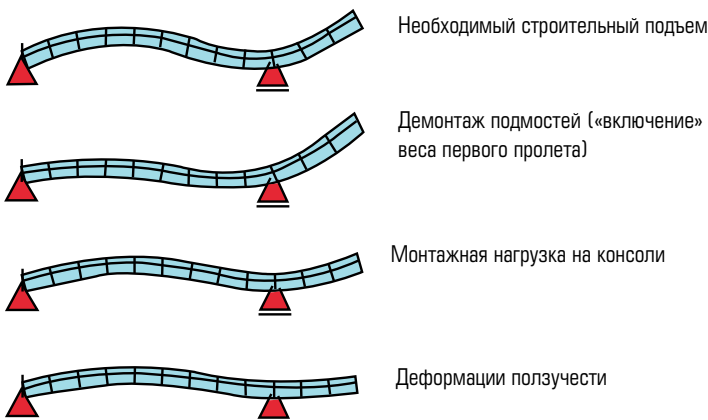


Рис. 5. Последовательность возведения «пролет за пролетом»: монтаж первого пролета с учетом строительного подъема

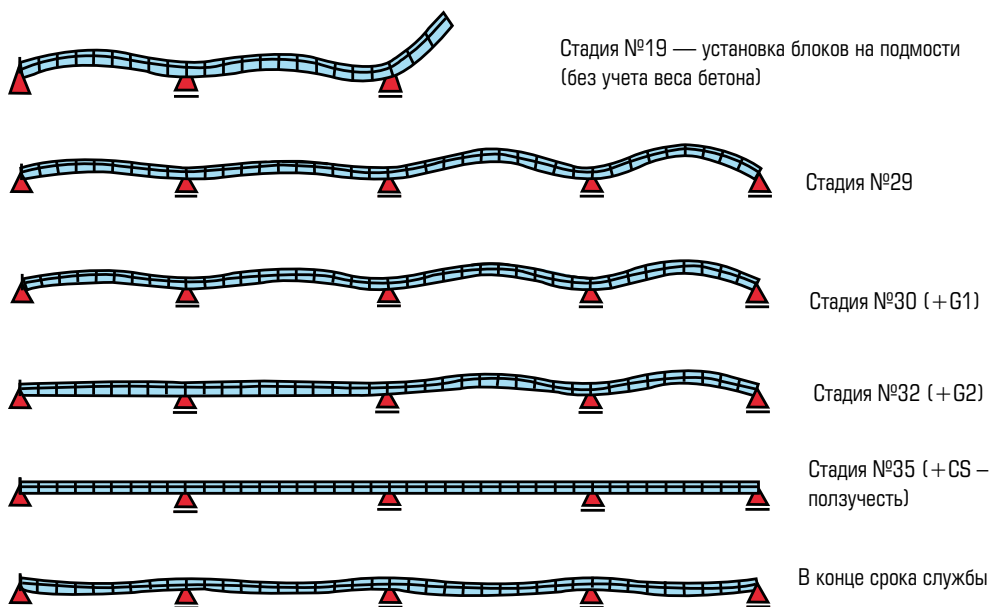


Рис. 6. Достижение цели — нулевое отклонение на стадии №35 — открытие движения по мосту

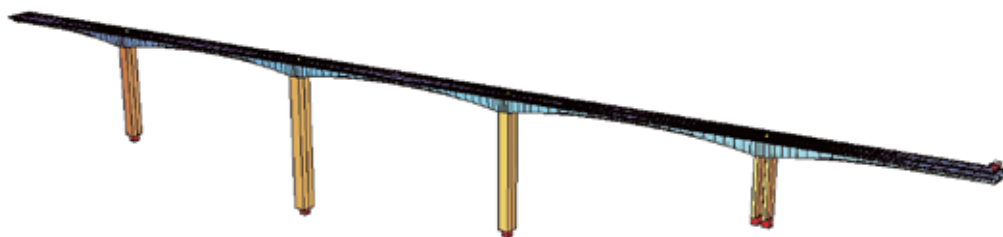


Рис. 7. Расчетная схема моста, сооружаемого методом уравновешенной консольной сборки. Целевая стадия — нулевая деформация на момент ввода в эксплуатацию

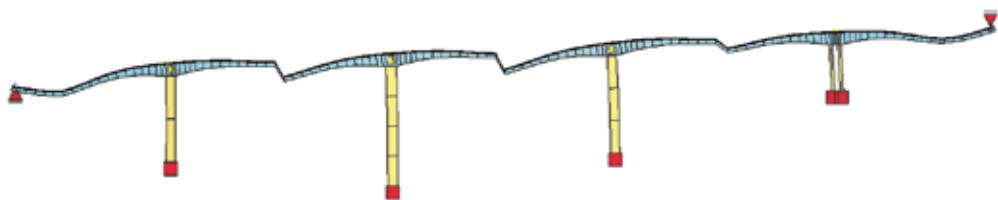


Рис. 8. Результат расчета на стадии ввода моста в эксплуатацию без учета строительного подъема (первый шаг расчета)

Результат расчета пролетного строения, сооружаемого методом уравновешенной навесной сборки, с учетом строительного подъема приведен на рис. 7, без учета — на рис. 8.

Видно, что учет строительного подъема обеспечивает требуемое положение поверхности моста на момент его открытия.

3. УЧЕТ ПОЛЗУЧЕСТИ И УСАДКИ БЕТОНА

В SOFiStiK реализованы 2 метода учета ползучести и усадки бетона. Стандартный метод, в Германии называемый методом Дишингера (Dischinger) использует упрощенное представление с фиксированными значениями δ и ρ для текущего напряженно-деформированного состояния (НДС). Эти значения рассчитываются в модуле CSM заранее и учитывают возраст бетона в момент распалубки и на последующих стадиях, температуру и влажность окружающей среды. По этим фиксированным значениям, модуль расчета сечений AQB определяет потери напряжений ввиду ползучести и усадки бетона. Этот упрощенный метод не учитывает историю нагружения — на каждом шаге текущее НДС вызывает дополнительные деформации ползучести независимо от порядка реализации.

Преимуществом указанного метода является «прозрачность» расчета и возможность определения комбинированных (стержни + оболочки) конечно-элементных моделей в модуле ASE. В таблице приведены коэффициенты ползучести для системы из п.п. 1, 2. Обратите внимание, что в примере группа №2 первый раз появляется на стадии №25, таким образом, коэффициент ползучести (0,75) для этой стадии гораздо выше, нежели для группы №1 (0,16). Тем не менее, суммарная деформация для обеих групп одинакова по прошествии 100-летнего периода (2,09).

Эффект последующих загрузений учитывается при расчете вторым методом. Для каждого компонента НДС определяется период действия нагрузки. Он получает собственный коэффициент ползучести, исходя из возраста бетона и срока действия компонентов нагрузки. Указанный метод в SOFiStiK реализован только для стержневых элементов (не для элементов оболочек).

Таблица

CREEP VALUES											
Grp	Mno	deff [m]	T0 d	CS 15	CS 25	CS 35	CS 45	CS 46	CS 47	CS 48	total
		Time	---	28	28	100	438	1616	5961	21985	30156
		RH %	---	70	70	70	70	70	70	70	
		Temp	---	20	20	20	20	20	20	20	
1	1	0.400	7	0.75	0.16	0.29	0.41	0.30	0.13	0.04	2.09
2	1	0.400	7	—	0.75	0.40	0.46	0.31	0.14	0.04	2.09
3	1	0.400	7	—	—	1.07	0.51	0.32	0.14	0.04	2.09

4. СБОРНЫЕ ПРЕДВАРИТЕЛЬНО- НАПРЯГАЕМЫЕ БАЛКИ С МОНОЛИТНОЙ ПЛИТОЙ ПРОЕЗДА

Рассмотрим применение модуля CSM на примере распространенной конструкции. Первые деформации ползучести появляются еще на полигоне изготовления железобетонных конструкций, при этом коэффициент ползучести для свежего бетона высок. На строительной площадке конструкция дополняется монолитной плитой проезда. В этом состоянии омоноличивания действует нагрузка, вызывая напряжения бетона только в сборных конструкциях. После набора прочности бетоном временные опоры заменяются на опорные части — таким образом, граничные условия для системы меняются (рис. 9, 10).

Теперь последующие нагружения, а так же эффекты ползучести и усадки бетона будут вызывать напряжения в



Рис. 9. Две балки, преднапряженные параболическими пучками, на индивидуальных опорах



Рис. 10. Смена граничных условий — переход от отдельных балок к неразрезной балке

плите проезда. Аналогично, без учета строительного подъема форма пролетного строения будет отличаться от желаемой архитектурной формы. Для подобной системы достаточно использовать простой линейный расчет строительного подъема. Необходимые деформации и отметки опалубки могут быть получены указанием лишь одной опции: требуется указать только номер целевой стадии строительства, на которой ожидается нулевое перемещение.

Аналогичная техника используется для расчета сложных композитных систем, например таких как вантовые сталежелезобетонные мосты.

**Dr.-Ing. Juergen Bellmann,
Dipl.-Ing. Stefan Maly
SOFiSTiK AG,
Перевод на русский язык — эксперт ПК
SOFiSTiK, ст. преподаватель кафедры
«Мосты и тоннели»
АДФ СПбГАСУ, Д.А. Ярошутин**