

РАСЧЕТ ПРОЛЕТНЫХ СТРОЕНИЙ, ВОЗВОДИМЫХ МЕТОДОМ ПРОДОЛЬНОЙ НАДВИЖКИ, С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПК SOFiSTiK

При монтаже пролетных строений мостов в стесненных условиях, при пересечении русловых участков судоходных рек, широко применяется метод продольной надвигки. При этом безусловными являются как уникальный опыт отечественных проектировщиков и строителей, так и высочайший уровень ответственности и особые требования к качеству выполняемых расчетных обоснований.

Очевидно, что расчетная модель подобного сооружения должна быть максимально подробно проанализирована на каждой из стадий строительства с учетом всех действующих факторов. Обычно это решается с помощью расчетных пакетов, предназначенных для проектирования мостов.

В то же время постановка особых задач зачастую требует от проектировщиков написания собственных программ или разработки дополнительных модулей-надстроек, расширяющих возможности расчетных пакетов. Часто такая работа выполняется для конкретного проекта.

Пакет программ конечно-элементного анализа SOFiSTiK имеет набор специализированных опций для решения подобных задач, при этом у пользователя есть большая свобода в выборе метода и степени детальности выполняемого расчета.

1. Основные положения

1.1. Использование команды LAUN для задания шага надвигки

Одной из опций расчетного модуля SOFiSTiK ASE является опция переноса LAUN, допускающая выполнение в пространстве модели как параллельного переноса, так и поворота вокруг произвольной оси определенных пользователем групп элементов.

Перемещение заданной группы элементов может быть описано с использованием следующих параметров (рис. 1):

- GRP — выбор групп элементов, к которым применяется текущая команда (согласно правилам записи SOFiSTiK допускаются перечисления вида «1,2,3,4,...» или последовательности вида «{1 5 1}»);

- DX, DY, DZ — параллельный перенос группы GRP на заданное расстояние вдоль координатной оси;

- XM, YM, ZM — координаты, определяющие точку пересечения оси поворота с одной из перпендикулярных ей координатных плоскостей (допускается одновременное указание только двух параметров);

- NR1 и NR2 — указатели на существующие узлы, образующие произвольно-ориентированную ось вращения;

- PHI — угол поворота в радианах.

Для особых задач возможна произвольная комбинация указанных видов перемещений при помощи последовательных записей, разделяемых командой LAUN – 1, например:

```
LAUN GRP 71 PHI 0.4 YM 3 ZM 3
$ Поворот параллельно плоскости YZ
LAUN –1
```

```
LAUN GRP 71,72 PHI 0.3 XM 0 YM 0
$ Последующий поворот параллельно XY
```

Фактически с использованием команды LAUN можно описать произвольные кинематические перемещения как конструкции пролетных строений, подвижных или плавучих опор, так и монтажных приспособлений, стреловых и деррик-кранов, поворотных рам, тележек и т. п.

Полученные в результате расчета перемещения узлов расчетной схемы измеряются от смещенного положения для заданной группы элементов.

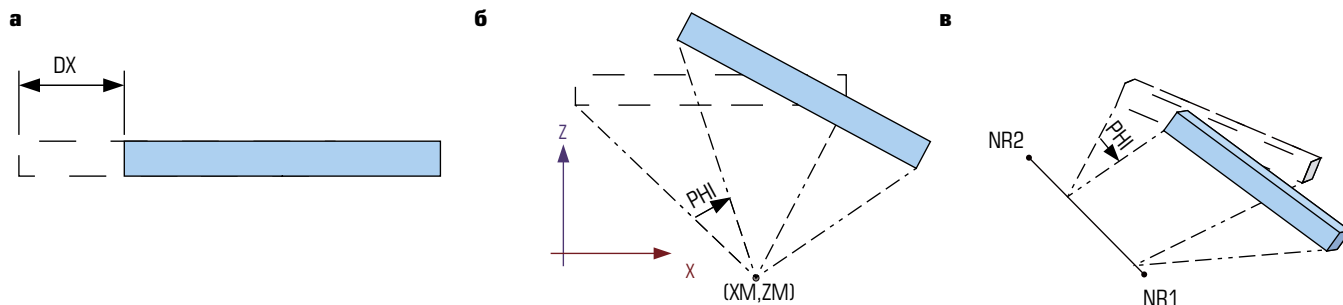


Рис. 1. Основные способы переноса элементов командой LAUN: а — параллельный перенос; б — поворот в плоскости XZ; в — поворот вокруг заданной оси

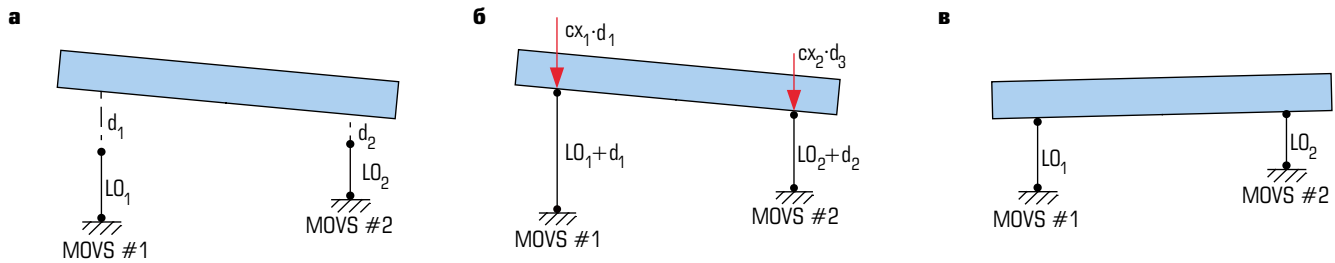


Рис. 2. Принципиальная схема взаимодействия контактных элементов с пролетным строением: а — поиск точек контакта; б — присоединение контактного узла к конструкции; в — опускание на контактные пружины

1.2. Особенности использования контактных элементов

Изменяющиеся условия сопряжения элементов и геометрическая неизменяемость расчетной схемы при смещении отдельных групп на произвольной стадии надвигки могут быть, в общем случае, учтены только с использованием особых контактных элементов, автоматически определяющих точки соприкосновения с движущейся частью конструкции.

В SOFiStiK при помощи команды MOVS модуля ASE контактным элементом может быть объявлена любая пружина, в том числе обладающая нелинейными характеристиками (работа только на сжатие, зазор, предельная нагрузка и т. п.). Свойства пружины как контактного элемента определяются одним из следующих параметров:

- NO — порядковый номер пружины;
- TYPE — тип контактного элемента (контакт с узлами или QUAD-элементами);
- FROM, TO, INC — значения, определяющие последовательность узлов или элементов, с которыми возможен контакт;
- LO — начальная (до наступления контакта) длина пружины.

В случае использования исходной одноузловой пружины положение контактной точки определяется пара-

метром LO и вектором направления (DX, DY, DZ).

При выполнении шага расчета модуль ASE выполняет автоматический поиск узлов на линии действия каждой из контактных пружин и в случае успеха присоединяет пружину к узлу. Если расстояние до узла отличается от длины LO контактной пружины, возникающее усилие стремится вернуть контактный узел в положение LO (что возможно для статически определимой системы при пренебрежении весом конструкции — см. рис. 2).

При разновысоких отметках опор в многопролетных системах возможно образование зазоров. В таком случае при выполнении линейного расчета все контактные узлы будут стремиться занять положение у вершины (LO) соответствующих контактных пружин, а конечные смещения узлов будут определяться соотношением жесткостей элементов и контактных пружин.

Использование нелинейного расчета позволяет учитывать одностороннюю работу контактных элементов, допуская раскрытие зазора и распределение нагрузок на прилегающие контактные пружины. Для схемы, приведенной на рис. 3, в случае пренебрежения весом конструкции в контактном элементе №2 реакция будет равна нулю, а отрицательная величина переме-

щения будет определять величину зазора a2. В случае приложения веса и дополнительных нагрузок к конструкции величина зазора будет уменьшаться в зависимости от прогиба конструкции и при достаточной величине нагрузки может произойти закрытие зазора с перераспределением нагрузки.

Данные о контактных элементах сохраняются в базе данных проекта SOFiStiK и могут быть многократно использованы как для расчета стадий надвигки, так и для обычных статических расчетов, а при необходимости удалены.

1.3. Учет последовательности сборки

Решатель ASE SOFiStiK позволяет пользователю на любом этапе расчета определять группы элементов GRP, участвующие в формировании системы, и при необходимости изменять их параметры (в частности, жесткость групп элементов).

- NO — порядковый номер группы (или ALL для всех);
- VAL — параметр выбора группы (YES, OFF, LINE, ...);
- FACS — коэффициент к жесткости группы.

Таким образом, является целесообразным разбиение расчетной схемы на группы элементов с учетом после-

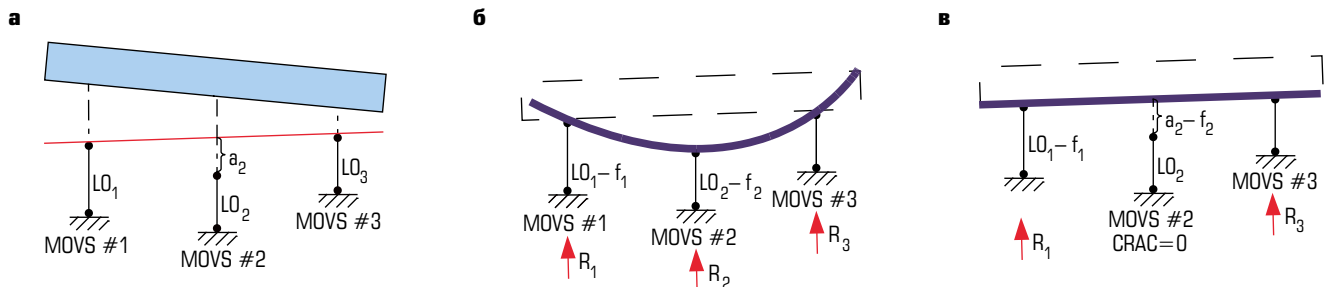
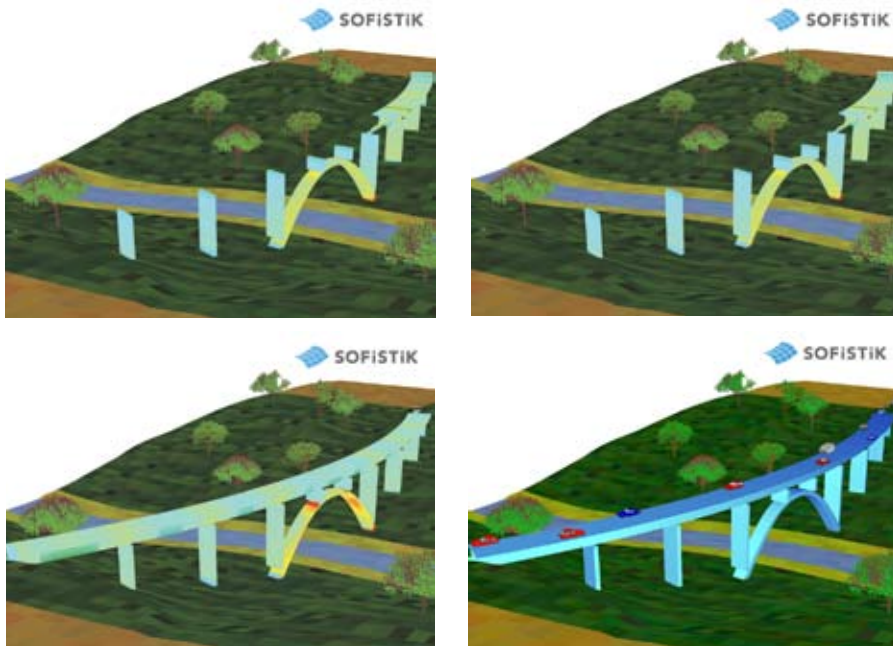


Рис. 3. Различия результатов линейного и нелинейного расчета для разновысоких односторонних контактных элементов: а — начальное положение; б — деформации при линейном расчете; в — образование зазора в одностороннем контактном элементе №2 при нелинейном расчете



Вывод результатов

довательности монтажа, с выделением независимых движущихся частей (пролетное строение, подвижные опоры), контактных элементов, постоянных и временных опор, стапеля и других приспособлений.

1.4. Учет дополнительного строительного подъема

В зависимости от решаемой задачи величина строительного подъема может быть задана пользователем в явном виде (как ординаты положения узлов расчетной схемы) либо получена в ходе предшествующего продвижке статического расчета на стадии эксплуатации.

При явном учете строительного подъема расчетная схема может быть сформирована либо на основе данных модели CAD, учитывающей строительный подъем, вручную или с использованием макросов SOFiSTiK, либо, при наличии табличных данных, построением криволинейной пространственной CABD оси в истинных отметках и автоматическим формированием расчетной схемы. Второй способ представляется значительно более удобным, быстрым и гибким, однако требует наличия отдельной лицензии CABD.

Если строительный подъем неизвестен, его значения могут быть получены в простейшем случае как отрицательные перемещения от комбинации постоянных и 40% вре-

менных подвижных нагрузок (более правильный подход подразумевает формирование огибающей перемещений). Полученные значения затем могут быть переданы в виде заданных отклонений узлов (не вызывающих усилий) или сохранены с учетом измененного положения узлов в отдельной базе данных для дальнейшего расчета каждой из стадий продвижки (команды OBLI и SYST STOR).

Оба случая позволяют учитывать все свойства контактных элементов, перечисленные в п. 1.2.

2. Особенности практического применения

При решении практических задач, как правило, требуется рассмотрение достаточно большого количества (от десятков до нескольких сотен) положений надвигаемого пролетного строения с выборкой наиболее значимых результатов для каждого из сечений.

В относительно простых случаях (при продвижке стальных или сталежелезобетонных ненапрягаемых пролетных строений) допустимо (а возможно, и более удобно) непосредственное управление решателем ASE. Тем не менее в этом случае пользователю приходится вручную описывать каждую стадию продвижки или разрабатывать макрос на языке CADINP, описывающий процесс решения задачи продвижки. Грамотное построение макроса с использовани-

ем включений (блоков) позволяет в отдельных случаях обойтись циклом по переменной абсциссы положения надвигаемого пролетного строения (в некоторых случаях может добавиться номер стадии, определяющий момент монтажа каждой из групп элементов).

В более сложных случаях, в особенности при расчете предварительно напряженных железобетонных пролетных строений, сооружаемых методом продольной надвигки (в том числе с использованием временных монтажных пучков), более целесообразным является применение специализированного модуля — менеджера стадий строительства CSM (см. №11 журнала «ДОРОГИ. Инновации в строительстве», с. 34–37). Здесь в дополнение к обычным таблицам стадий монтажа в модуле CSM указывается параметр LAUN, определяющий направление надвигки для заданной группы элементов, а в каждой из строк таблицы стадий монтажа добавляется значение смещения (использование повторителей вида «{1 10 1}» позволяет существенно сократить объем входных данных). Для надвигки пролетного строения на радиусной горизонтальной кривой запись может выглядеть следующим образом:

```
LAUN GRP 8,9 XM 0 0 PHI 1 $ Указание подвижных элементов
CS (100 127 1) TYPE G_1 TITL 'laun'
LAUN (-50/#R 50/#R/27) $ 28 шагов надвигки
```

Таким образом, в SOFiSTiK имеется возможность моделирования полного процесса надвигки, учитывающего историю возведения, изменяющиеся нагрузки и свойства материалов до достижения эксплуатационной стадии (а по необходимости — выполнения расчета и на стадии эксплуатации).

Результатом расчета, как правило, является набор сохраненных в базе данных загрузжений. Для дальнейшего расчета и проектирования в SOFiSTiK могут быть сформированы огибающие расчетных и нормативных значений усилий, напряжений, прогибов, а по ним при необходимости выполнены проверки прочности сечений. Вывод результатов возможен в графической и текстовой (табличной) формах, кроме того, для решения отдельных задач возможно прямое обращение к базе данных проекта.

Расчет форм и частот (периодов) собственных колебаний возможен для любой отдельной взятой стадии надвижки. При этом для сокращения объема данных все же рекомендуется выполнять динамические расчеты для избранных стадий. Также необходимо учитывать, что граничные условия для указанных стадий (полученные при помощи контактных элементов) должны соответствовать реальным условиям опирания пролетного строения на накаточные приспособления.

3. Выводы

Для решения задачи расчета пролетных строений, возводимых методом продольной надвижки, решатель SOFiSTiK предоставляет пользователю набор достаточно простых, но при этом универсальных инструментов ввода данных и управления процессом расчета.

Отсутствие форм ввода данных, описывающих частный случай задачи продольной надвижки, компенсируется простотой и универсальностью формата исходных данных, позволяющего

описать произвольную задачу. Более того, для типовых задач формирования исходных данных может осуществляться в формах приложений пользователя, допускающих двустороннюю связь с базами данных SOFiSTiK.

Наличие специализированной процедуры перемещения (LAUN), контактных элементов (MOVES), в том числе с возможностью назначения нелинейных свойств, позволяют в единой задаче без дополнительных трудозатрат выполнять расчеты пролетных строений, сооружаемых методом продольной надвижки, с учетом фактического положения опор, формы пролетного строения (строительный подъем) и возможности «отлипания» пролетного строения в процессе надвижки.

Наличие специализированных модулей проектирования мостов (система автоматизированного проектирования CABD, менеджер стадий строительства CSM) позволяют значительно сократить время формирования исходной модели и описания многостадийного процесса монтажа даже для сложных предварительно-

напряженных железобетонных пролетных строений мостов.

Анализ европейского опыта, тестирование и верификация SOFiSTiK, апробация программного комплекса и внедрение его в практику позволяют уверенно говорить о преимуществах SOFiSTiK при решении повседневных и уникальных задач расчета пролетных строений мостов.

Д.А. Ярошутин, эксперт ПК SOFiSTiK, ст. преподаватель кафедры мостов и тоннелей СФ СПбГАСУ, руководитель Центра компетенции «Мосты»
E-mail: yaroshutin@gmail.com



ПСС

ПСС («Петростройсистема»)
191040, Санкт-Петербург,
Лиговский пр., 56 Г
Тел.: +7 (812) 622-10-14
E-mail: cad@pss.spb.ru
www.pss.spb.ru; www.sofistik.ru
www.sofistik.com