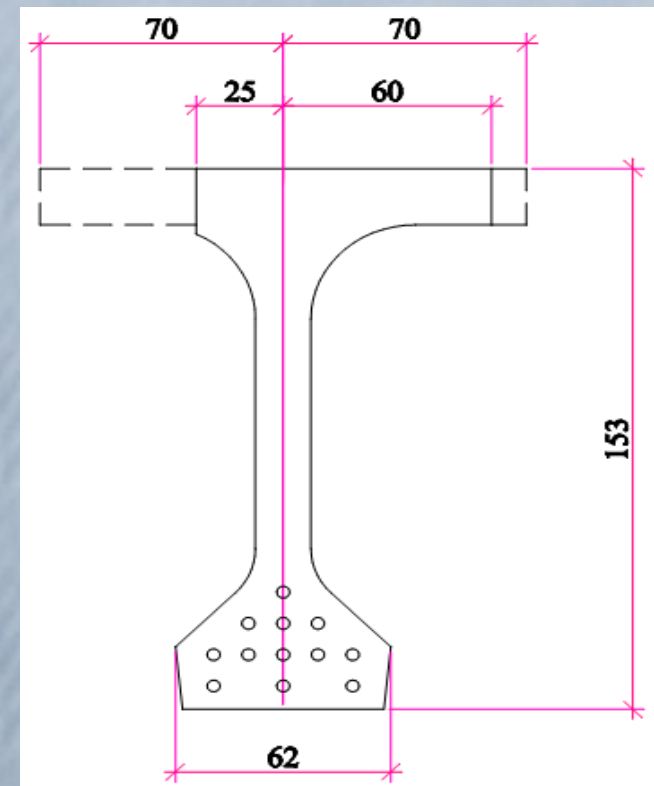
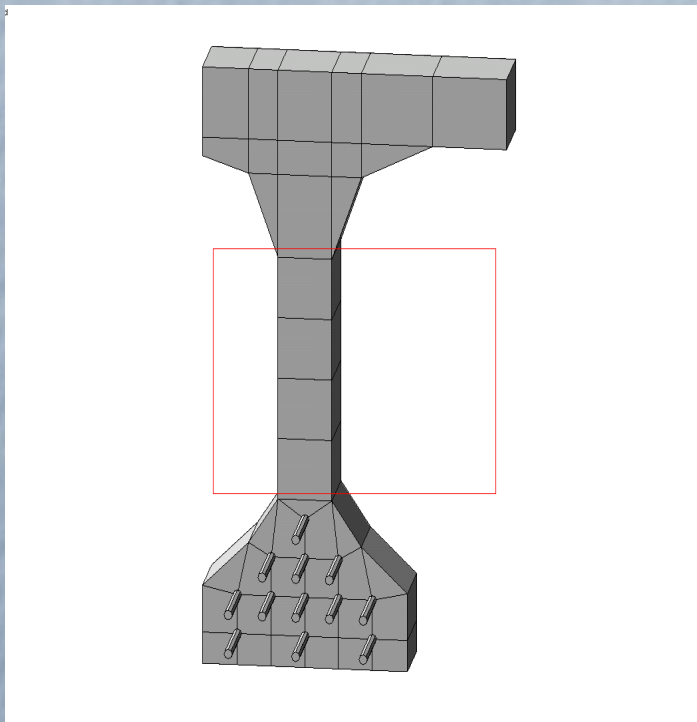


Расчет двутавровой преднапряженной балки длиной 33 м с несимметричным относительно вертикальной оси сечением на стадии создания предварительного напряжения и выемки из опалубки

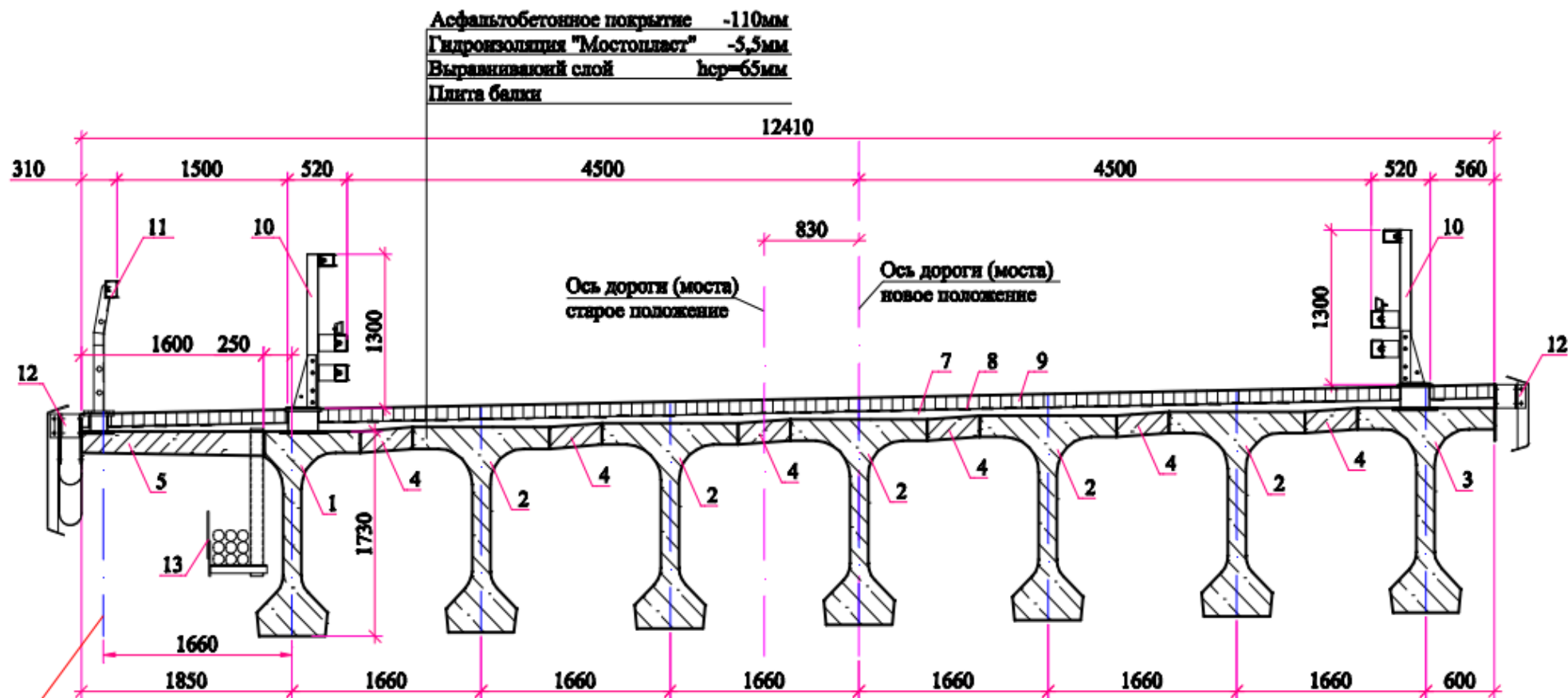
Козлов Алексей Владимирович, г. Воронеж



На рисунке слева показан фрагмент объемной модели балки с использованием КЭ-308 (форкоп) для моделирования преднапряженной арматуры; справа - схема поперечного сечения индивидуальной балки (пунктиром – поперечное сечение типовой балки)

Проектным решением предусматривается замена балок пролетного строения, при этом должны быть выполнены следующие условия:

- 1) т.к. существующие опоры сохраняются без изменений, шаг балок принят 166 см (как и было);
- 2) на новых балках конструктивно может быть устроена консоль, на которой будет расположен тротуар, поэтому вместо 8-и балок пролетное строение состоит из 7-и;
- 3) по мосту проходят коммуникации (поз. 13), и для их сохранения в процессе ремонта восьмая (старая) балка не демонтируется до тех пор, пока не будут смонтированы новые, и на них нельзя будет перекинуть коммуникации (сверху, между плитами старой и новой балки).



Ось "старой" балки, на которой в процессе замены балок остаются подвешены коммуникации (13)

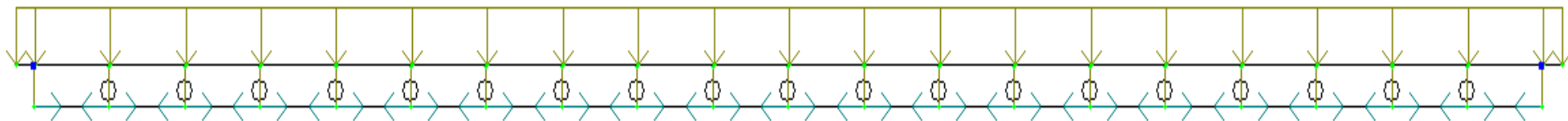
Обоснование необходимости выполнения расчета индивидуальной крайней балки с несимметричным сечением и выбора расчетной модели

Сразу после снятия опалубки обнаружился выгиб (искривление) продольной оси балки в горизонтальной плоскости, равный 7 см, в сторону большей (60 см) полки верхнего пояса. При этом в расчётах, выполненных на стадии проектирования по методикам СНиП 2.05.03-84* «Мосты и трубы», выполнялись все проверки.

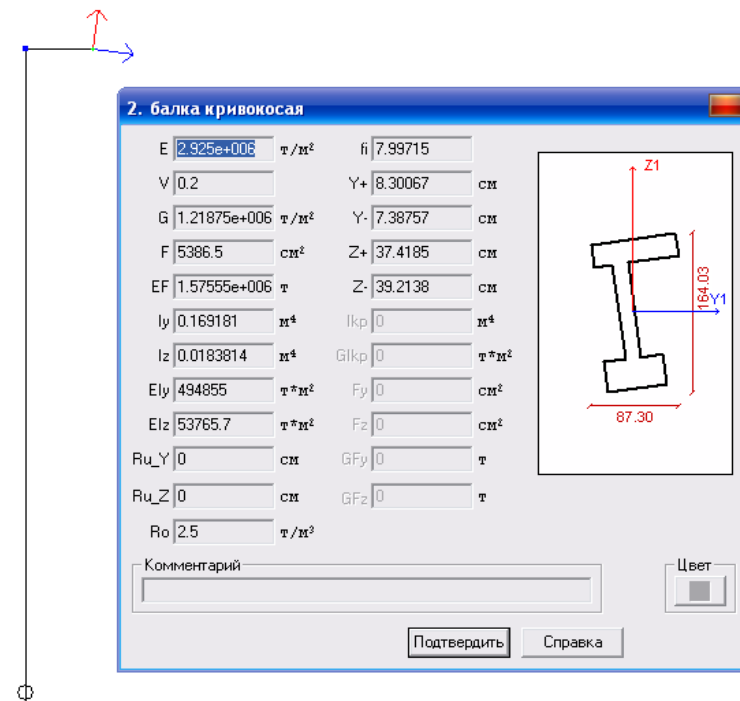
До выезда на завод были выполнены нелинейные расчёты объёмной модели балки в программном комплексе «ЛИРА», в которых выгиб оси в эту сторону от сил предварительного напряжения не превышал 1,6 см.

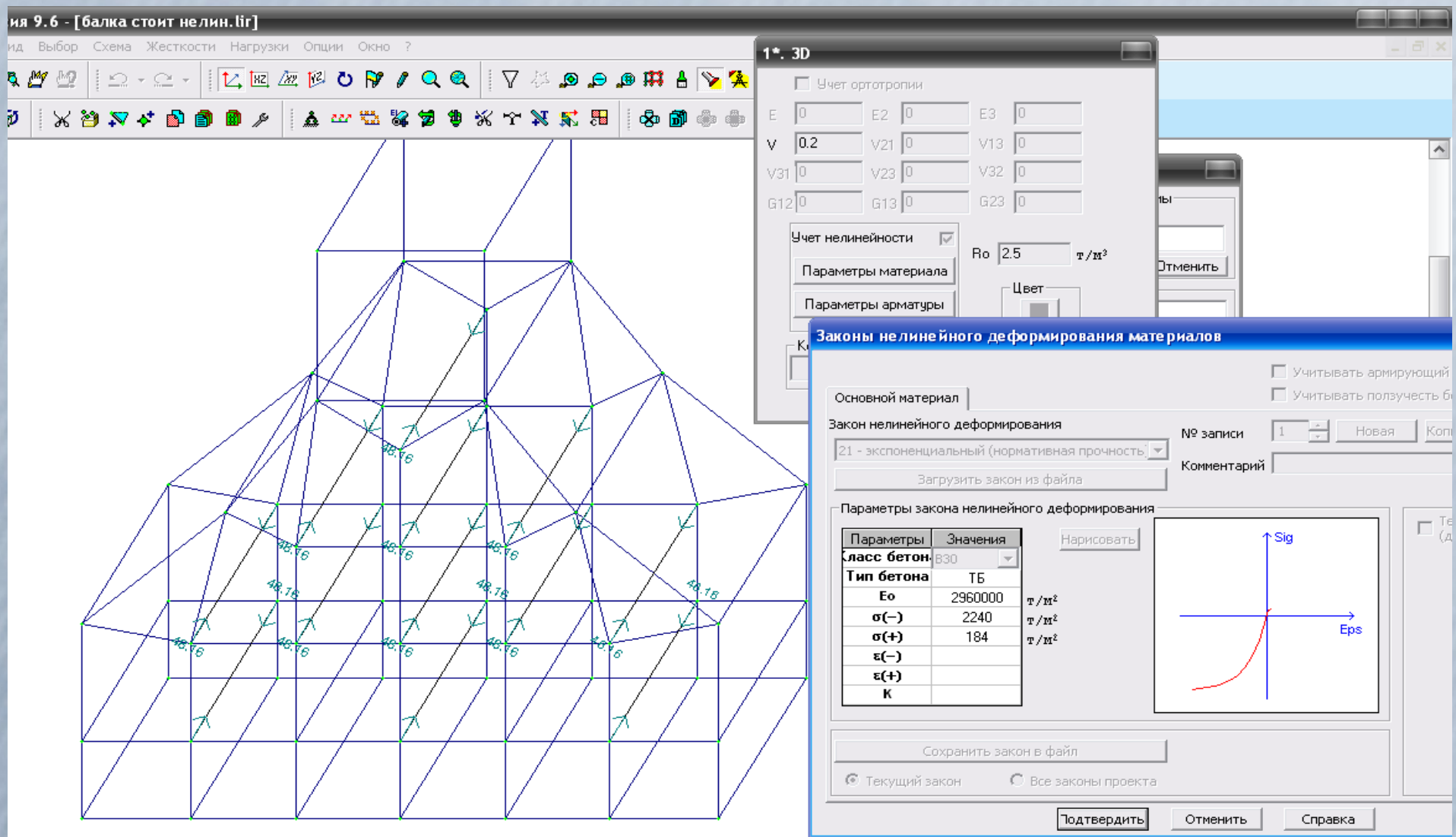
На заводе выяснилось, что все технологические нормы были выполнены с высоким качеством, а причиной сверхнормативного искривления явилось неблагоприятное совпадение допусков технических условий и особенностей работы несимметричного поперечного сечения. Дело в том, что ТУ разрешают искривление продольной оси величиной не более 0,001 пролёта или 30 мм, и опалубка 33-метровых балок имела деформацию 20 мм. Таким образом, на эксцентриситет продольного усилия от сил предварительного напряжения в несимметричном сечении наложился эксцентриситет от выгиба опалубки, и вместе они привели к нелинейному увеличению искривления продольной оси.

Возможны 3 основных варианта моделирования преднапряженной балки:

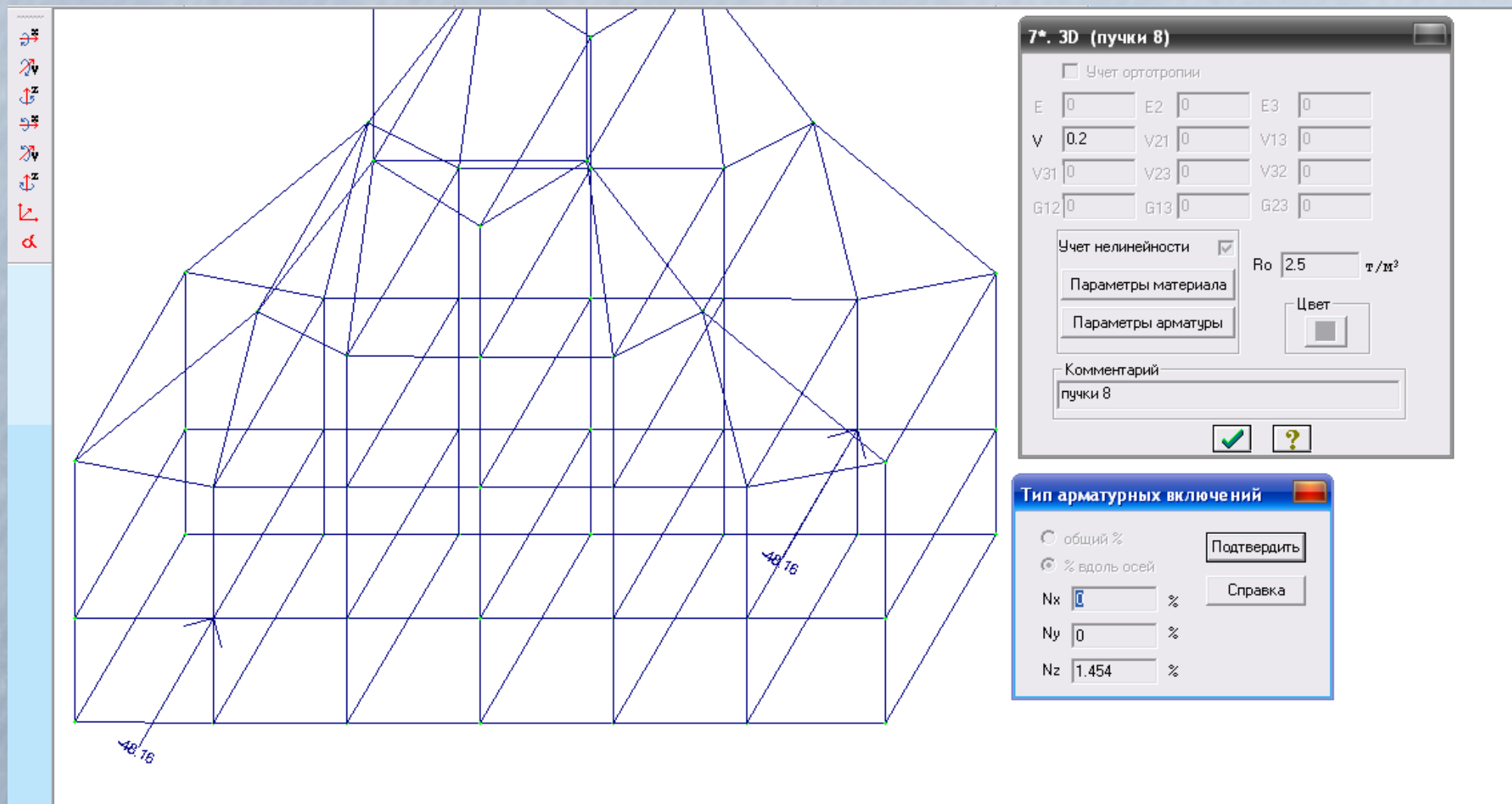


Первый вариант – стержневая модель с учетом геометрической нелинейности, несимметричное сечение рисуется в ЛИР-КС, предварительное напряжение моделируется аналогично шпренгельной системе – между центрами тяжести балки и преднапряженной арматуры вводятся жесткие вставки. На рисунке справа показано, каким образом решается вопрос эксцентриситета относительно вертикальной и горизонтальной осей: жесткая вставка состоит из 2-х стержней и имеет Г-образную форму. Необходимо также учесть поворот главных осей инерции.

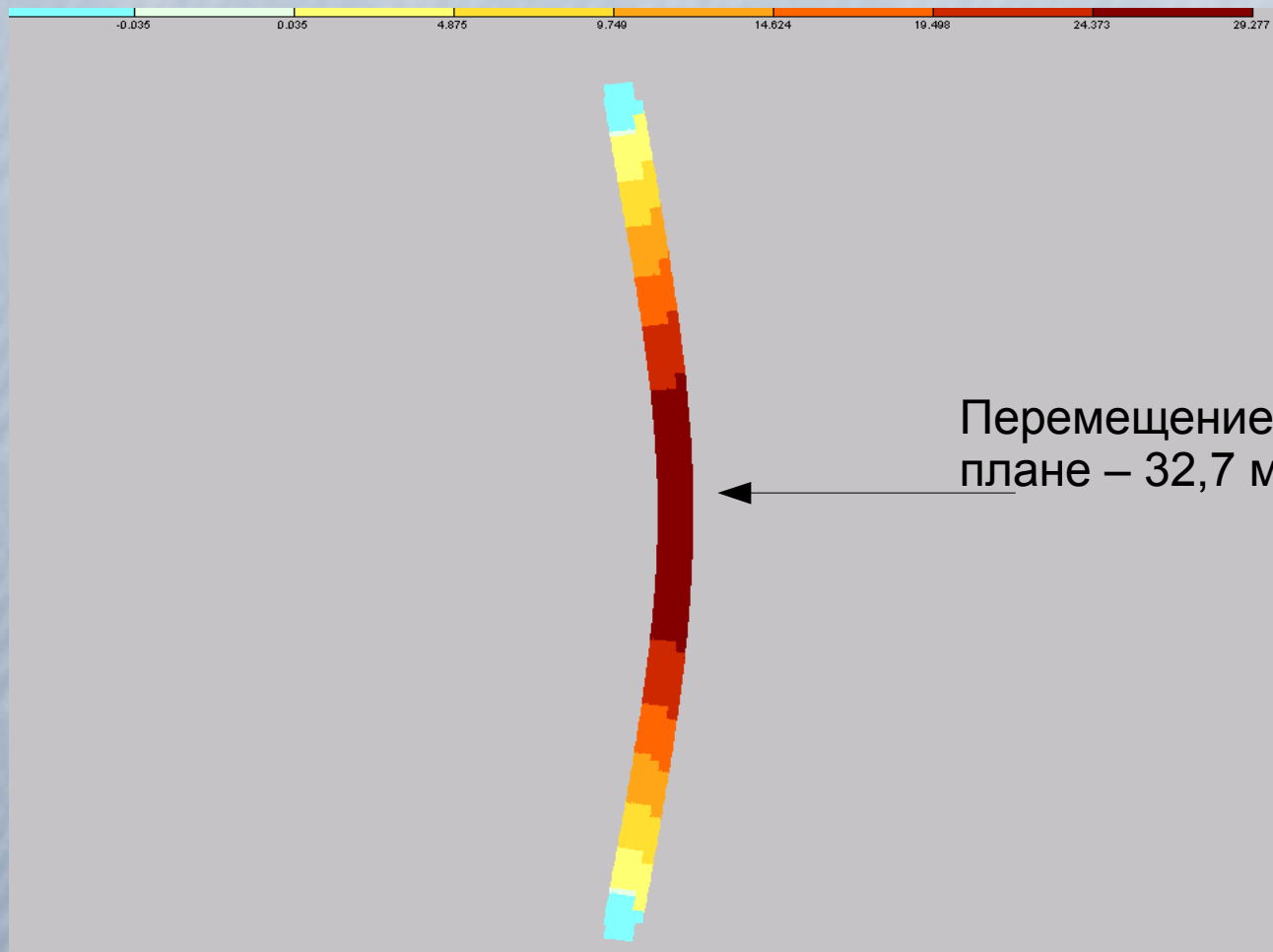




Второй вариант предусматривает использование объемных физически нелинейных элементов бетона и КЭ-308 (форкоп) для моделирования предварительного напряжения. Как и в первом варианте, надо задавать приведенное к железобетону однородное бетонное сечение. Разбивку поперечного сечения удобно проводить в AutoCAD'е с последующим экспортом dxf-файла в Лир-Визор, причем в нижнем поясе узлы элементов должны совпадать с фактическим положением арматуры.



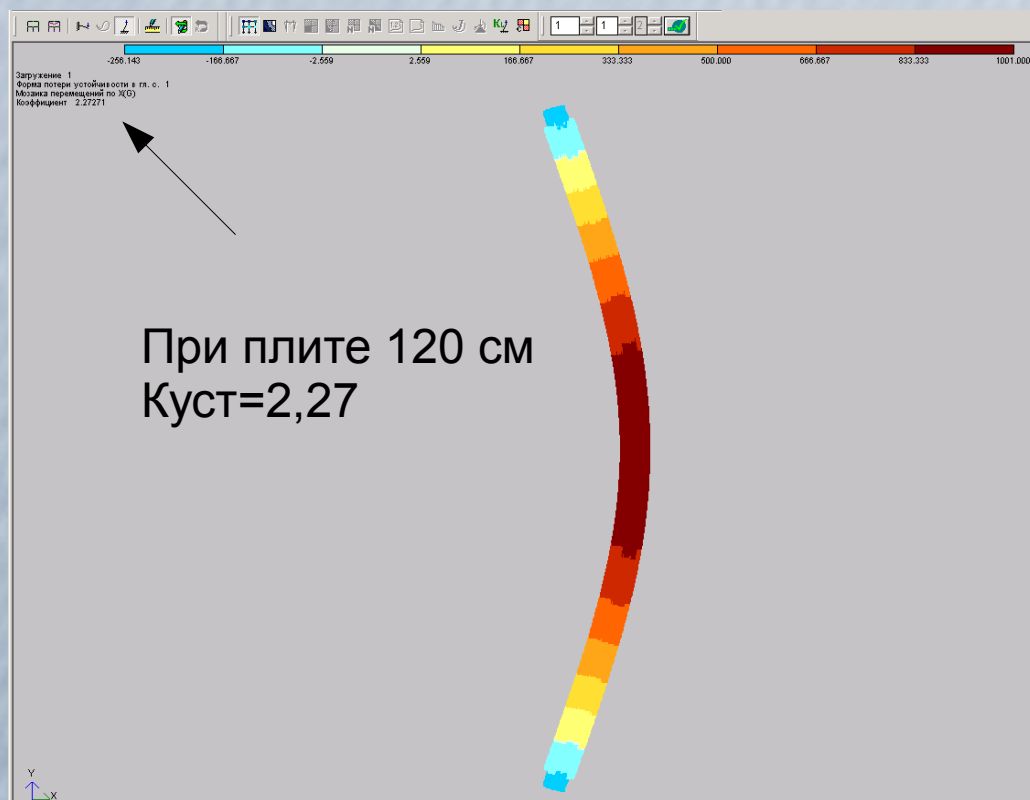
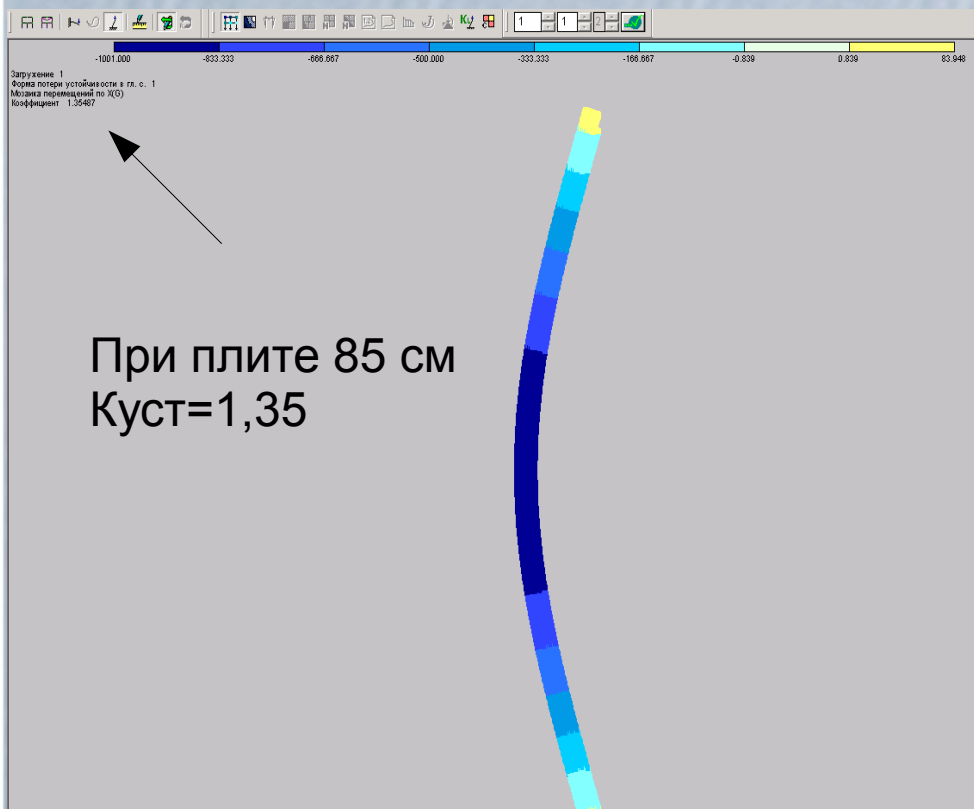
Третий вариант предусматривает использование объемных физически нелинейных элементов железобетона (с „размазанной“ по элементу арматурой). Такая схема является самой достоверной, т.к. сечение автоматически становится приведенным. Воздействие предварительного напряжения моделируется просто сосредоточенными силами. Следует также отметить, что в двух предыдущих схемах, в которых учитывалась геомнелинейность, при деформации оси балки изменялось направление усилий преднапряжения. Третья схема лишена этого недостатка.



Расчет выгиба в плане по всем 3-м схемам (при условии изначальной прямолинейности оси балки) дает примерно одинаковые результаты – 14-16 мм. Учесть кривизну опалубки (20 мм) позволяет лишь третья схема, т.к. в ней усилие от преднапряжения не меняет направление в зависимости от деформации балки. При этом получен суммарный выгиб 53 мм (20 мм – задано, 33 мм – после передачи усилия обжатия), что близко к фактическому значению.

Следует отметить, что при кривизне опалубки в „благоприятную“ сторону, выгиб будет практически равен 0.

Расчет устойчивости крайней балки (с несимметричной плитой шириной 85 см), и остальных балок, с плитой 120 см (поперечный разрез пролетного строения на листе №2)



Линейный расчет устойчивости двух типов балок показал, что первая форма потери устойчивости лежит в горизонтальной плоскости, при этом вертикальный выгиб невелик, и при „обрезанной“ плите коэффициент запаса, безусловно, недостаточен (рисунок слева).

Для предотвращения неприятностей при транспортировке балки при столь малой устойчивости, еще и с учетом выгиба после снятия опалубки, было принято решение доомонолитить на заводе короткую консоль до 60 см (вместо 25).

Спасибо за внимание!

