

СТРУКТУРНЫЙ АНАЛИЗ ФЕРМ

Шарнирный треугольник

При анализе геометрической неизменяемости исследуется возможность перемещений без деформаций, следовательно, все стержни рассматриваются как абсолютно жёсткие (недеформируемые).

Шарнирный треугольник (рис.1.) является жёстким диском.

Докажем это. В соответствии с определением жёсткого диска, расстояние между любыми двумя его точками должно быть неизменно.

Если выбрать эти две точки на одном стержне (А и В на рис.1), то расстояние между ними, очевидно, будет неизменным, поскольку стержень недеформируемый.

Если выбрать эти две точки на разных стержнях (С и D на рис.1), то изменение расстояния между ними может произойти только за счёт взаимного поворота двух стержней (EF и EG вокруг точки E на рис.1), что невозможно, т.к. такому повороту препятствует третий стержень (FG на рис.1).

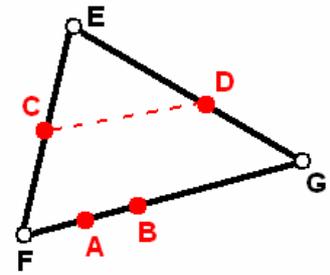


Рис.1 Шарнирный треугольник

Простейшая ферма

Простейшей называется ферма, пролётное строение которой образовано из шарнирных треугольников (рис.2).

Пролётное строение простейшей фермы является жёстким диском.

Докажем это. Пролётное строение такой фермы образовано путём последовательного присоединения к имеющемуся жёсткому диску (например, шарнирному треугольнику ABC на рис.2) новых шарниров при помощи двух стержней (например, шарнира D стержнями BD и CD на рис.2). Перемещения присоединённого шарнира относительно исходного диска при этом невозможны, поскольку шарнир соединён с ним двумя связями, не лежащими на одной прямой. Следовательно, полученная таким образом система (например, ABCD на рис.3) также представляет собой жёсткий диск. Дальнейшие рассуждения для следующих шарниров (например, шарнира F на рис.2) аналогичны.

Для того, чтобы обеспечить геометрическую неизменяемость простейшей фермы, достаточно прикрепить полученный жёсткий диск (её пролётное строение) к основанию как минимум тремя связями, не параллельными и не пересекающимися в одной точке (направления связей в опорах С и E на рис.2 изображены зелёными линиями).

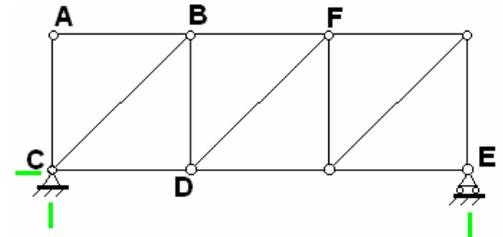


Рис.2 Простейшая ферма

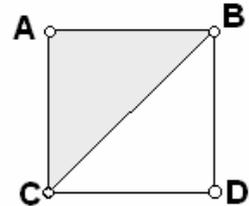


Рис.3 Присоединение шарнира к шарнирному треугольнику

Ферма, образованная из простейших

На рис.4 изображена ферма, пролётное строение которой образовано из двух простейших ферм, являющихся жёсткими дисками (заливка на рис.4). Эти диски оказываются соединёнными в шарнире С и посредством стержня АВ (рис.4). Шарнир С соответствует двум связям, препятствующим взаимному смещению двух дисков в вертикальном и горизонтальном направлениях, а стержень АВ является третьей связью, препятствующей их взаимному повороту. Направления связей изображены на рис.4 зелёными линиями. Иными словами, два диска оказываются соединёнными между собой тремя связями, не

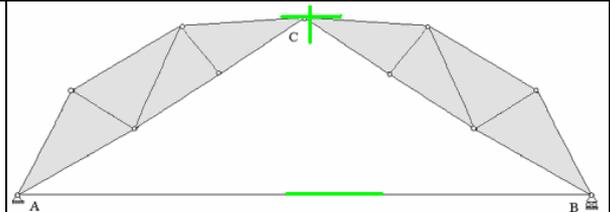


Рис.4 Ферма, образованная из простейших

параллельными и не пересекающимися в одной точке, а значит их взаимное смещение невозможно, т.е. пролётное строение фермы представляет собой жёсткий диск. Три опорные связи, прикрепляющие этот диск к основанию, не параллельны и не пересекаются в одной точке, следовательно система геометрически неизменяема.

Шпренгельная ферма

Шпренгелями называют стержни, введённые в ферму в дополнение к основному (рис.5). В пролётном строении фермы, приведённой на рис.5, повторяя рассуждения аналогичные тем, что проводились для простейшей фермы, можно выделить два жёстких диска (заливка на рис.6), образованных последовательным присоединением к исходному жёсткому диску в виде шарнирного треугольника (штриховка на рис.6) шарниров- каждого двумя стержнями, не лежащими на одной прямой.

Аналогично предыдущему примеру, эти два диска оказываются соединёнными тремя связями, не параллельными и не пересекающимися в одной точке - шарниром А (он соответствует двум связям) и стержнем ВС (рис.6). Таким образом, пролётное строение фермы представляет собой жёсткий диск. Три опорные связи, прикрепляющие этот диск к основанию, не параллельны и не пересекаются в одной точке, следовательно система геометрически неизменяема.

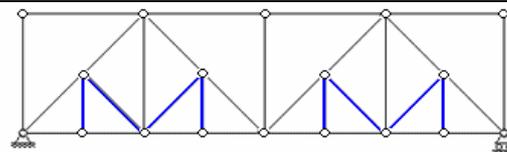


Рис.5. Шпренгельная ферма. Шпренгели выделены

цветом

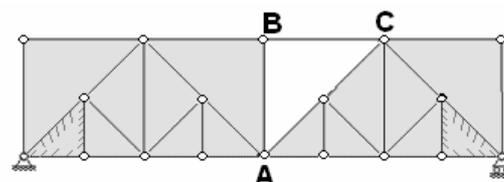


Рис.6 Анализ геометрической неизменяемости шпренгельной фермы

Полураскосная ферма

Пролётное строение полураскосной фермы (рис.7) представляет собой жёсткий диск, поскольку, аналогично простейшей ферме, образовано последовательным присоединением к базовому жёсткому диску в виде шарнирного треугольника (заливка на рис.7) шарниров- каждого двумя стержнями, не лежащими на одной прямой. Три опорные связи, прикрепляющие этот диск к основанию, не параллельны и не пересекаются в одной точке, следовательно система геометрически неизменяема.

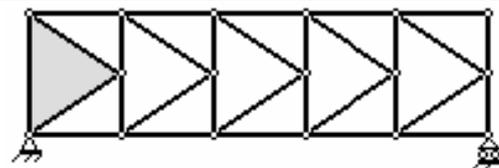


Рис.7. Полураскосная ферма

Ферма, образованная из двух полураскосных

Пролётное строение фермы, изображённой на рис.8 состоит из двух дисков, каждый из которых является полураскосной фермой, аналогичной рассмотренной в предыдущем пункте (заливка на рис.8). Эти диски соединены между собой тремя связями, не параллельными и не пересекающимися в одной точке – стержнями АВ, CD и BC. Следовательно, пролётное строение фермы представляет собой жёсткий диск. Три опорные связи, прикрепляющие этот диск к основанию, не параллельны и не пересекаются в одной точке, следовательно система геометрически неизменяема.

Ферма, полученная из рассматриваемой путём перестановки одного стержня (BC), изображена на рис.9. В ней три связи - стержни, соединяющие два жёстких диска, параллельны, следовательно два диска имеют возможность перемещаться один относительно другого. Действительно, ничто не мешает превращению шарнирных прямоугольников (заливка на рис.9) в параллелограммы. Ферма геометрически изменяема.

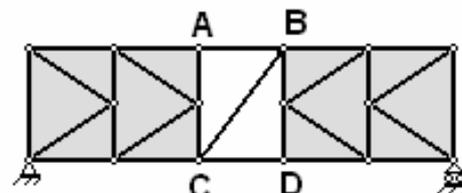


Рис.8 Ферма, образованная из двух полураскосных

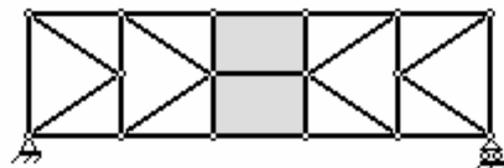


Рис.9 Геометрически изменяемая ферма

Ферма Шухова*

Пролётное строение фермы Шухова (рис.10) образовано двумя шарнирными треугольниками (выделение цветом на рис.10), соединёнными между собой тремя связями – стержнями AF, BE и CD, не параллельными и не пересекающимися в одной точке. Следовательно, пролётное строение фермы представляет собой жёсткий диск. Три опорные связи, прикрепляющие этот диск к основанию, не параллельны и не пересекаются в одной точке, следовательно система геометрически неизменяема.

*Шухов Владимир Григорьевич (1853-1939)- выдающийся российский и советский инженер, автор технологических решений в области нефтедобычи и нефтепереработки, конструкций машин, котлов, насосов, мостов, башен, перекрытий. По его проектам в Москве, в частности, построены: радиобашня (Шуховская башня) на Шаболовке, покрытия ГУМа, Киевского вокзала, музея изобразительных искусств имени Пушкина.

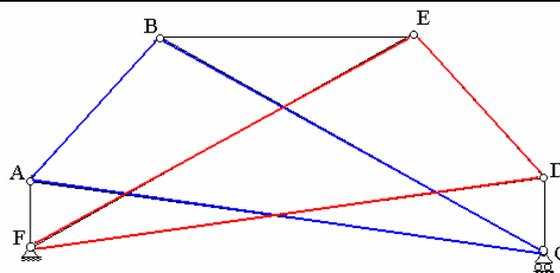


Рис.10 Ферма Шухова