

РОЗДІЛ 3. НЕСТАЦІОНАРНИЙ АНАЛІЗ МІЦНОСТІ МОСТА

Необхідно зробити аналіз міцності моста (рис. 3.1) при проходженні по ньому транспортного засобу довжиною 15 м і масою 15 т зі швидкістю 54 км/год.

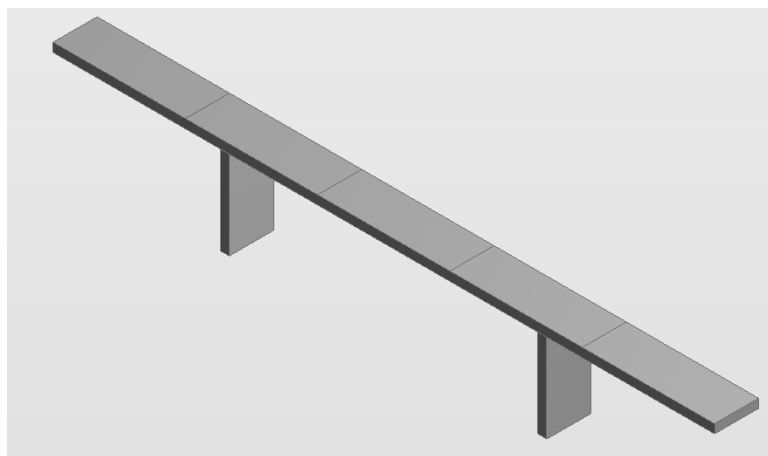


Рис. 3.1. Міст, аналіз міцності якого необхідно зробити

Навантаження, з яким діє транспортний засіб на міст є нестационарним, внаслідок того, що воно (сила ваги транспортного засобу) переміщається мостом із заданою швидкістю транспортного засобу. Таким чином, у програмній платформі ANSYS Workbench вибираємо у вікні «Toolbox», у підрозділі «Analysis Systems» пункт «Transient Structural» – нестационарний структурний аналіз. Цей вид аналізу використовується для визначення переміщень, що змінюються за часом, деформацій, напруг і внутрішніх зусиль у тілі під впливом нестационарних навантажень. У результаті з'являється вікно проекту, аналогічне вікну «Static Structural», показаному на рис. 1.4. Компонент «Transient Structural» складається з наступних частин: «Engineering Data» («Технічні параметри»), «Geometry» («Геометрія»), «Model» («Модель»), «Setup» («Настроювання розрахунку»), «Solution» («Рішення завдання») і «Results» («Аналіз результатів»).

3.1. «Engineering Data». У цьому пункті змін не робимо, і залишаємо матеріал, обраний за умовчужанням – Structural Steel (конструкційна сталь).

3.2. «Geometry». Побудову моделі починаємо з вибору метрів як одиниці виміру розмірів у редакторі, внаслідок великих габаритних розмірів мосту та транспортного засобу. Далі в дереві побудови вибираємо площину XY і натискаємо на кнопку побудови ескізу. Для рисування ескізу використаємо інструмент Rectangle (прямокутник) і проводимо прямокутник як показано на рис. 3.2.

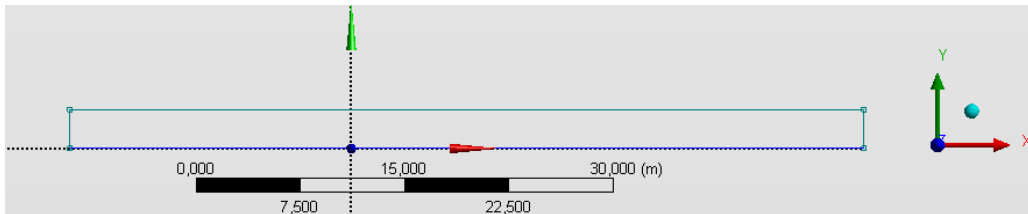


Рис. 3.2. Побудова першого ескізу

Використовуючи вкладку «Dimensions» і тип розміру «Length/Distance» проставляємо розміри прямокутника (розміри зазначені на рис. 3.3).

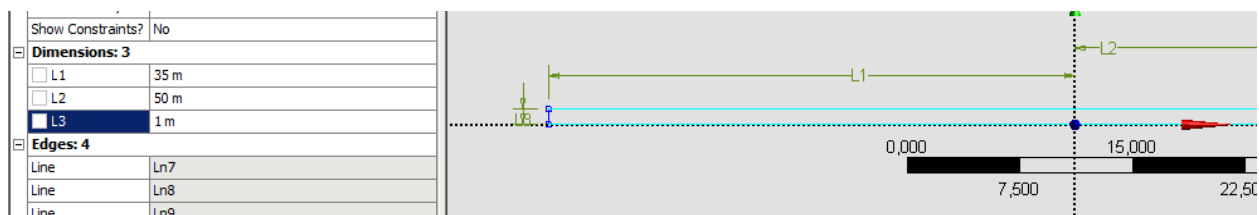
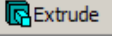


Рис. 3.3. Розміри ескізу

Після проставлення розмірів створимо тверде тіло. Для цього застосуємо операцію видавлювання . У вікні «Details view» вказуємо у вікні Geometry – ім'я побудованого нами ескізу, а у вікні Depth – довжину 5 метрів. У результаті одержуємо тверде тіло, представлене на рис. 3.4.

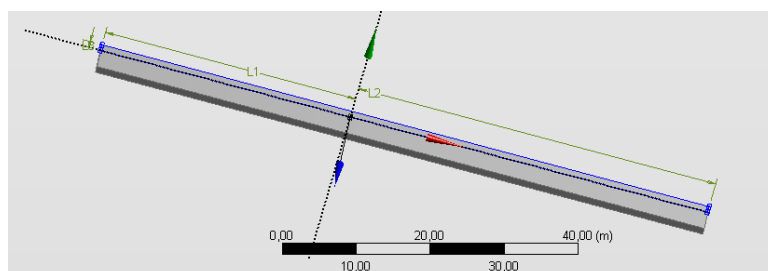


Рис. 3.4. Результат побудови твердого тіла

Далі в дереві побудови вибираємо площину ZX і натискаємо на кнопку побудови ескізу. Для рисування ескізу використаємо інструмент Rectangle (прямокутник) і проводимо прямокутники як показано на рис. 3.5. Використовуючи вкладку «Dimensions» і тип розміру «Length/Distance» проставляємо розміри прямокутника (розміри зазначені на рис. 3.5).

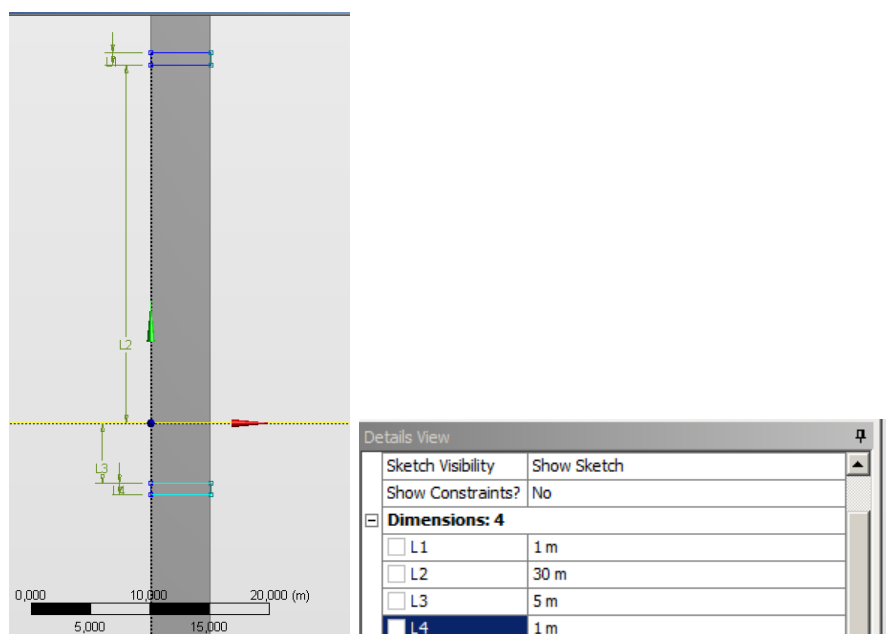


Рис. 3.5. Розміри ескізу

Після проставлення розмірів створимо тверде тіло. Для цього застосуємо операцію видавлювання . У вікні «Details view» вказуємо у вікні Geometry – ім'я побудованого нами ескізу, а у вікні Depth – довжину 10 метрів; Direction – напрямок уздовж лінії видавлювання вказуємо Reversed – протилежний напрямком.

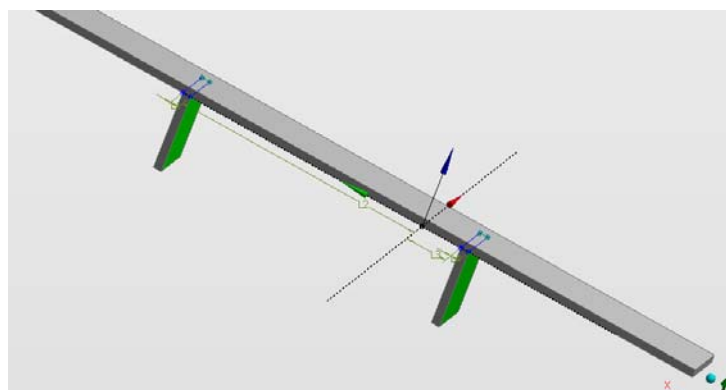

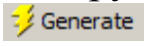


Рис. 3.6. Результат побудови твердого тіла

У результаті одержуємо тверде тіло, представлене на рис. 3.6.

Тому що транспортний засіб рухається мостом й нам доведеться вказувати прикладання сили в різні моменти часу, те необхідно поверхню мосту, якою рухається транспортний засіб розбити на кілька поверхонь, щоб пізніше була можливість задати різні площадки в різні моменти часу, в якості площадок прикладання сили. Чим на більше число площадок ми розіб'ємо поверхню, тим більш точний розрахунок ми одержимо. Для даного завдання виберемо число площадок рівне п'яти. Натискаємо кнопку  (нова площина) і у вікні Details of Plane робимо наступні зміни (рис. 3.7): Type – From Face; Base Face – Selected вибираємо на твердому тілі поверхню, якою рухається транспортний засіб. Після цих змін натискаємо кнопку .

Details View	
Details of Plane4	
Plane	Plane4
Type	From Face
Subtype	Outline Plane
Base Face	Selected
Use Arc Centers for Origin?	Yes
Transform 1 (RMB)	None
Reverse Normal/Z-Axis?	No
Flip XY-Axes?	No
Export Coordinate System?	No

Рис. 3.7. Властивості операції побудови допоміжної площини

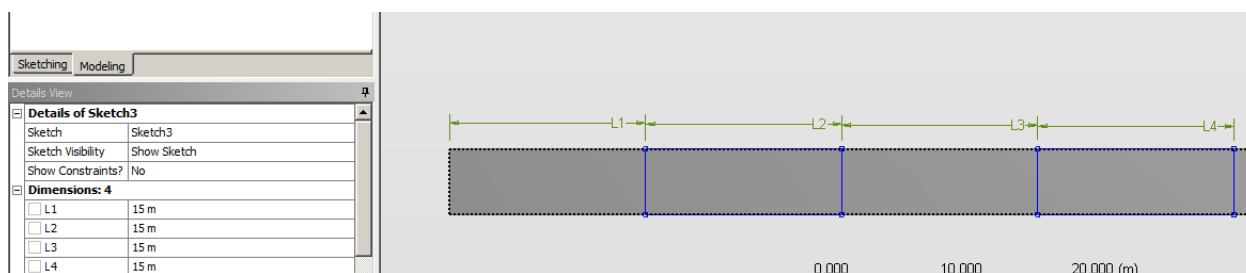
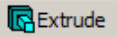


Рис. 3.8. Розміри ескізу

Далі на побудованій площині вибираємо побудови ескізу й проводимо прямокутники як показано на рис. 3.8. Використовуючи вкладку «Dimensions» і тип розміру «Length/Distance» проставляємо розміри прямокутника (розміри зазначені на рис. 3.8). Для того, щоб розбити поверхню необхідно зробити операцію видавлювання .

з параметрами, наведеними на рис. 3.9. Необхідно змінити вкладку Operation і вказати Imprint Faces (розсічення грані), все інше залишити без зміни.

Details View	
Details of Extrude3	
Extrude	Extrude3
Geometry	Sketch3
Operation	Imprint Faces
Direction Vector	None (Normal)
Direction	Normal
Extent Type	To Next
As Thin/Surface?	No
Target Bodies	All Bodies
Merge Topology?	Yes
Geometry Selection: 1	
Sketch	Sketch3

Рис. 3.9. Властивості операції видавлювання

Після виконання останньої операції верхня поверхня моста розділена на 5 частин і побудова моделі закінчена. Далі зберігаємо проект і закриваємо Ansys Design Modeler.

3.3. Model. Будуємо сітку з параметрами «за умовчуженням» указавши у вкладці Statistics у пункті Mesh Metrics опцію «Quality». Контролюємо якість сітки відсутністю неякісних елементів (якістю менше 0,1).

3.4. Setup. Уводимо граничні умови – жорстке закладення на гранях і ребрах, зазначених на рис. 3.10.

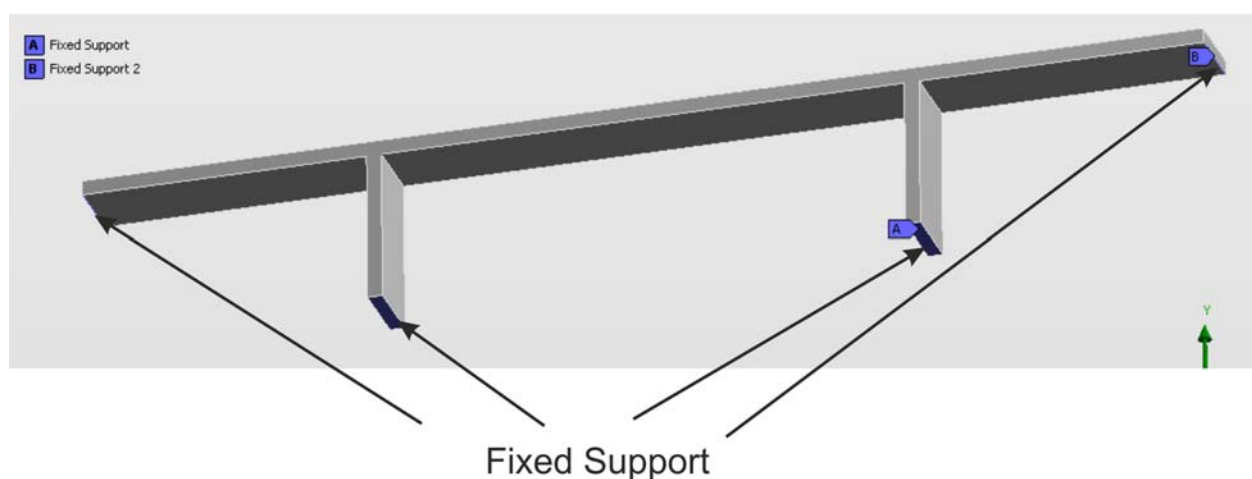


Рис. 3.10. Завдання твердого закладення

Details of "Analysis Settings"	
Step Controls	
Number Of Steps	1,
Current Step Number	1,
Step End Time	6, s
Auto Time Stepping	On
Define By	Time
Initial Time Step	0,1 s
Minimum Time Step	0,1 s
Maximum Time Step	0,1 s
Time Integration	On
Solver Controls	
Solver Type	Program Controlled
Weak Springs	Program Controlled
Large Deflection	On

Рис. 3.11. Параметри розрахунку

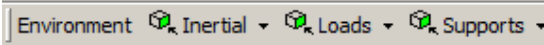
Нажавши на Analysis Settings у дереві проекту робимо налаштування параметрів розрахунку, змінивши вкладку Stop End Time = 6 s (попередньо розраховуємо час руху транспортного засобу мостом); Initial Time Step = 0,1 s, Minimum Time Step, Maximum Time Step = 0,1 s (початковий, мінімальний і максимальний кроки за часом). Кроки за часом визначаємо виходячи із загального часу розрахунку – 6 секунд і раціональної кількості кроків та точності розрахунку.

Навантаження задаємо з урахуванням того, що транспортний засіб рухається мостом й, отже, сила ваги (навантаження) змінює свою точку прикладення в різні моменти часу. Попередньо визначаємо місце розташування транспортного засобу залежно від часу знаючи швидкість і відстані ділянок, на які була розбита поверхня моста (див. рис. 3.8).

У меню Environment вибираємо пункт Loads – Force. Потім вибираємо першу ділянку й задаємо силу шляхом вибору в якості Magnitude – Tabular Data. Після цього з'явиться таблиця, у якій є можливість указати значення сили в різні моменти часу, як це показано на рис. 3.12. Указуємо значення, попередньо розрахувавши значення сили й час дії на цій ділянці виходячи зі швидкості переміщення транспортного засобу.

Потім робимо аналогічні дії для завдання сили на другій та інших ділянках (рис. 3.13).

Графік дії сили на різних ділянках за часом можна побачити якщо натиснути на Analysis Settings у дереві проекту).

Крім змінного навантаження на міст додаємо дію сили ваги мосту натисканням кнопки  й вибору

вкладки Standart Earth Gravity. У властивостях операції, що з'явилися, вказуємо напрямок дії сили ваги.

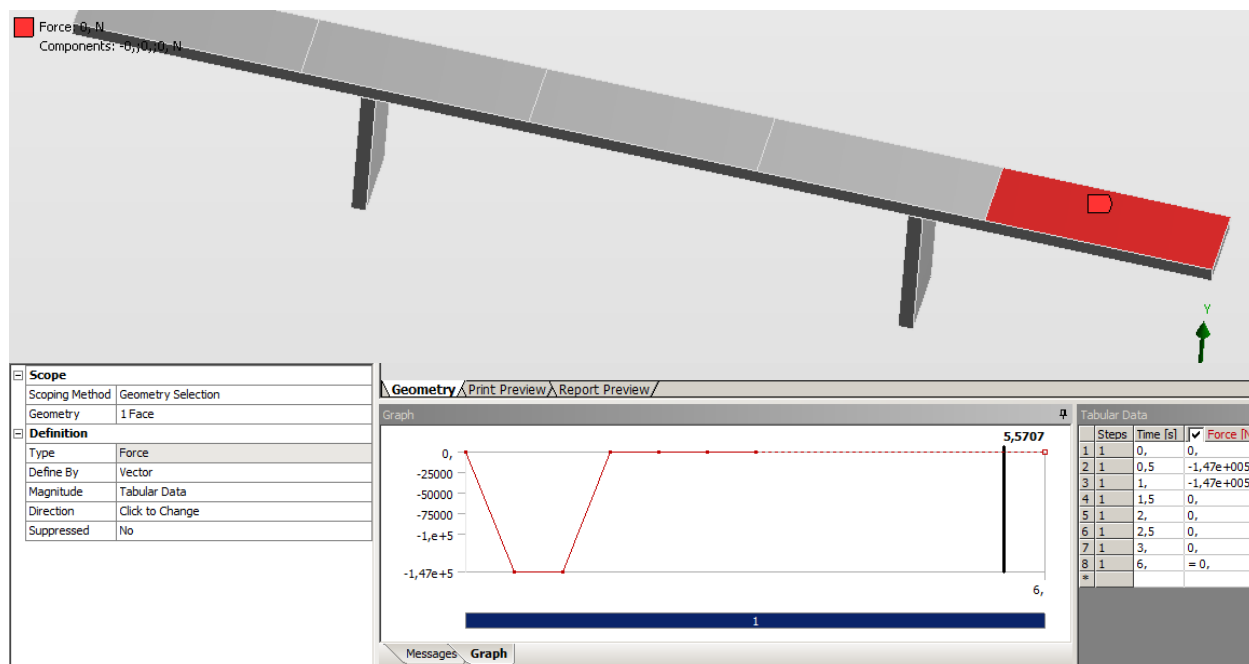


Рис. 3.12. Завдання сили, що діє на тіло

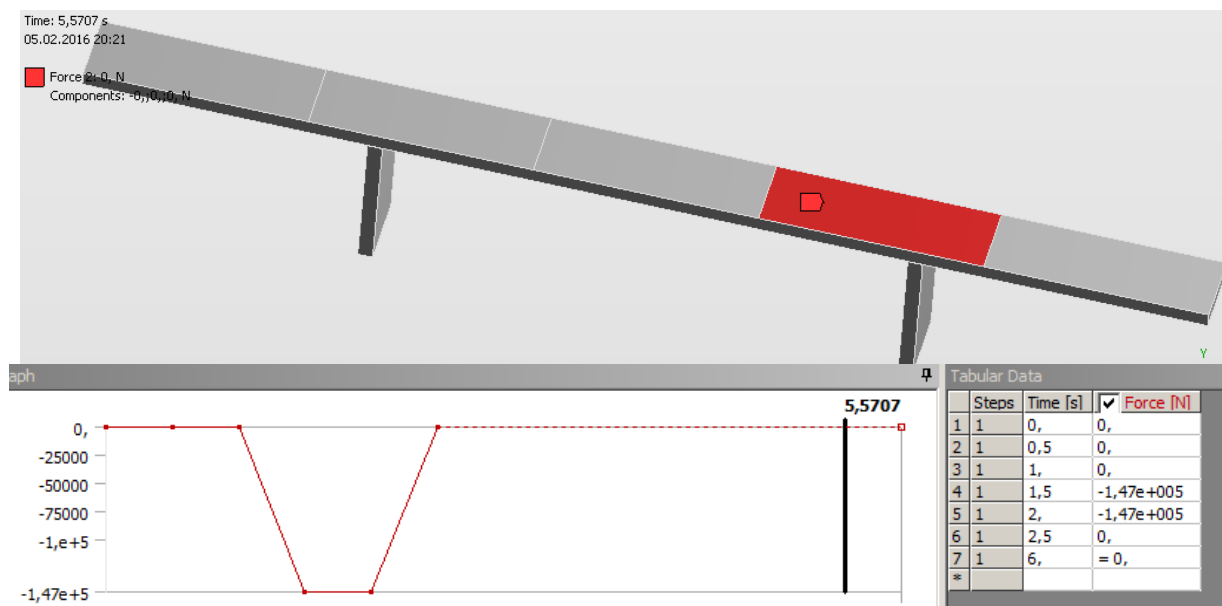
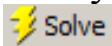
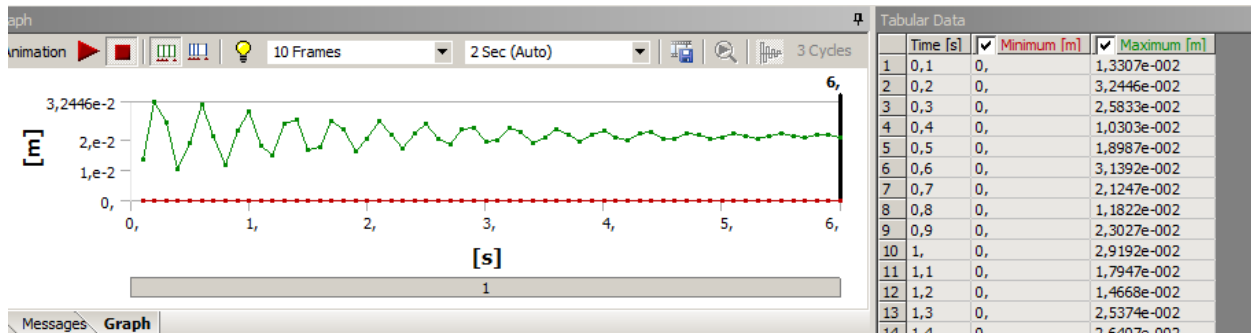


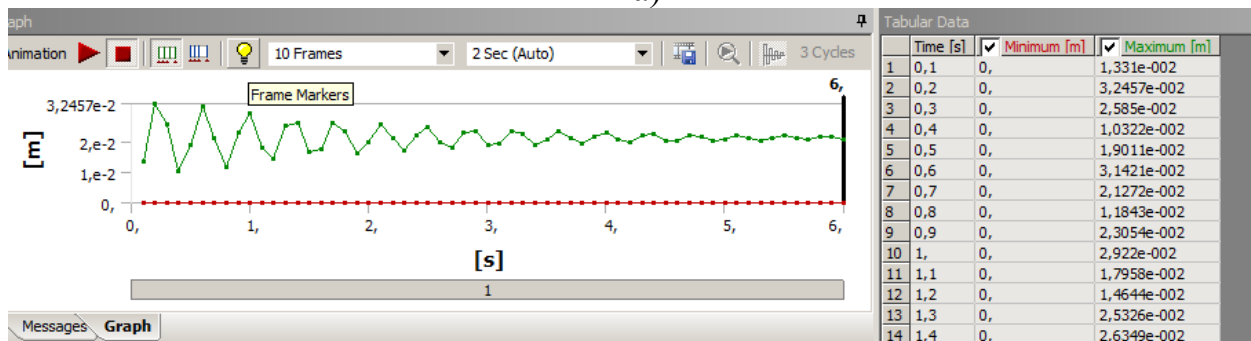
Рис. 3.13. Завдання сили, що діє на тіло на другій ділянці

3.5. Solution. Запуск вирішувача в Workbench виконується натисканням кнопки  на панелі інструментів. Для візуалізації результатів розрахунку виберемо Stress Equivalent (von-Mises) і Total Deformation. Вузлові переміщення є прямим результатом чисельного рішення задачі міцності. ANSYS дозволяє виводити як оскові зсуви

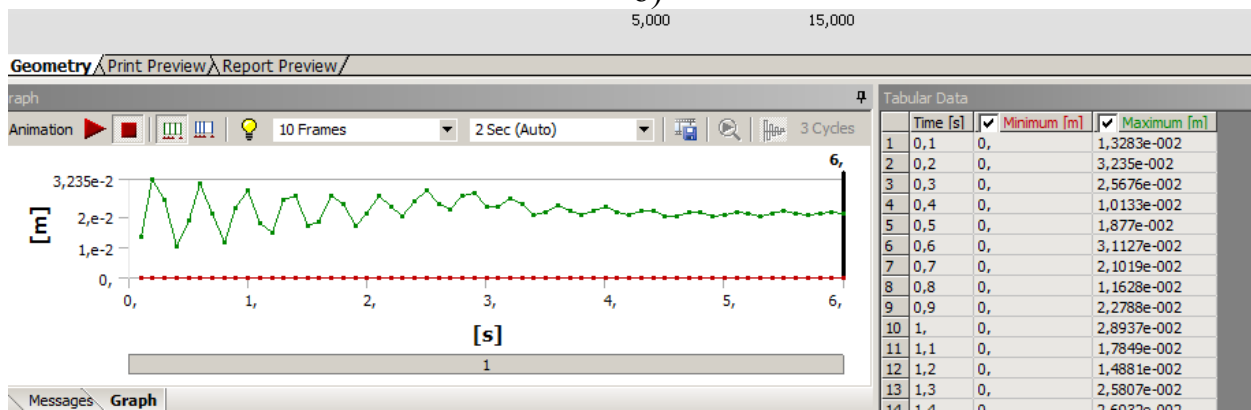
вузлів (Directional deformation), так і повне переміщення вузла (Total deformation), що розраховується (у прямокутній системі координат) за формулою: $u = \sqrt{u_x^2 + u_y^2 + u_z^2}$.



а)



б)



в)

Рис. 3.14. Результати розрахунку повних переміщень (а – без урахування дії змінної сили; б – транспортний засіб масою 15т, в – транспортний засіб масою 150 т)

3.6. Results. На рис. 3.14 наведений графік повних переміщень вузлів при трьох варіантах розрахунку: без урахування змінного навантаження та з урахуванням (15 й 150 т). Вплив змінного навантаження добре ілюструється при програванні зміни деформації та на-

пруг моста в часі програмними засобами пакета Ansys. На рис. 3.15 показані вузлові переміщення в різні моменти часу.

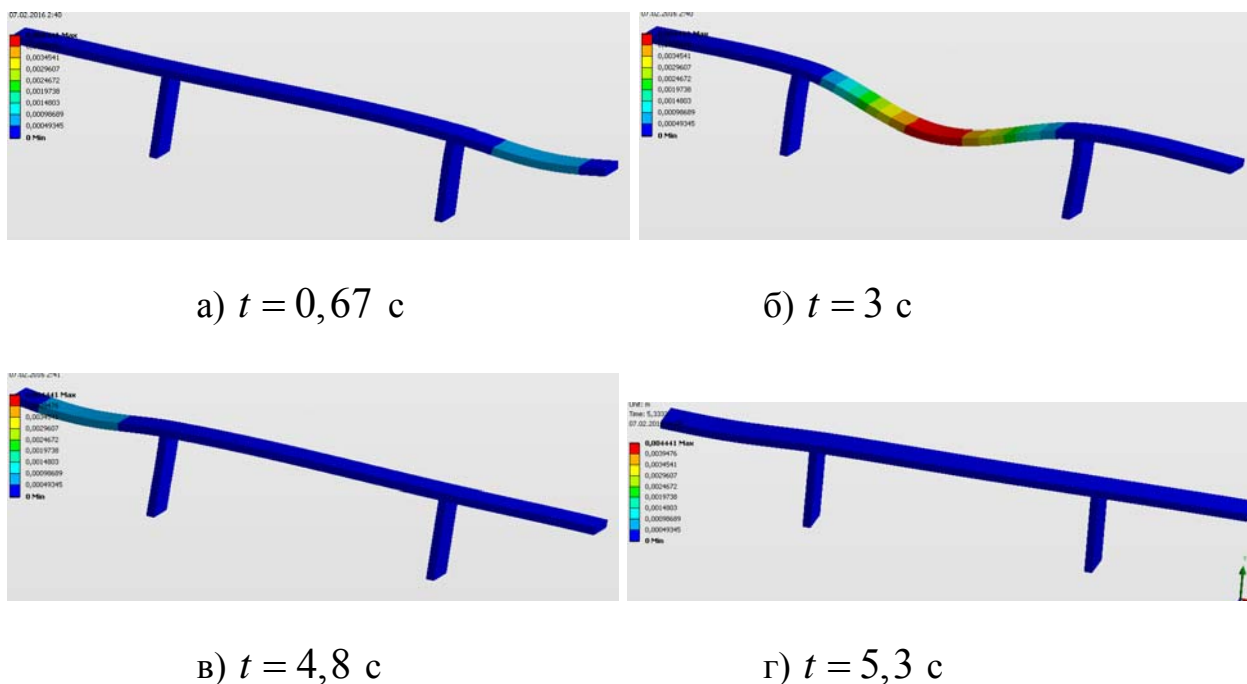


Рис. 3.15. Вузлові переміщення в різні моменти часу

Для ілюстрації деформації різних ділянок моста в різні моменти часу при розрахунку, показаному на рис. 3.15 не була врахована сила ваги. З рисунка добре видно проходження транспортного засобу різними ділянками мосту.