

УДК 539.3

*Солохин М.А.; Воробьев Ю.С., д-р техн. наук; Губский А.Н.*

## **ВЛИЯНИЕ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО НАГРУЖЕНИЯ ВОДЯНОЙ КАМЕРЫ КОНДЕНСАТОРА ПАРОВОЙ ТУРБИНЫ НА ОТКЛИК ОТ ДИНАМИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ**

**Введение.** Вследствие стремительного развития атомной энергетики, всё больше АЭС строится в засушливых регионах, где не представляется возможным использование пруда-охладителя, что приводит к необходимости использованию градирен, и, как следствие, к повышению давления в водяных камерах конденсатора. Это, а так же ошибки в эксплуатации могут привести к опасности возникновения динамических явлений, которые в своём крайнем проявлении способны вызвать нежелательные последствия такие, как разрушение системы стяжек. Возникает задача расчёта отклика камеры на динамическое воздействие и снижения повреждений, вызванных динамическим воздействием. Цель данной работы – сравнить отклики на динамическое воздействие предварительно нагруженной внутренним давлением и ненагруженной водяной камеры.

Для анализа взята модель передней водяной камеры конденсатора турбины типа К – 1100 с охлаждением конденсатора с помощью градирен.

**Численные исследования.** Численные исследования проводились на основе трёхмерных конечно-элементных моделей. Предел текучести материала 220 МПа. Толщина стенки конструкции 20 мм. Диаметр поперечного сечения стяжек 40 мм

На следующих трёх рисунках (рис. 1-3) представлены распределения напряжений в камере без предварительного нагружения для максимального уровня напряжений при различных величинах давления динамического воздействия.

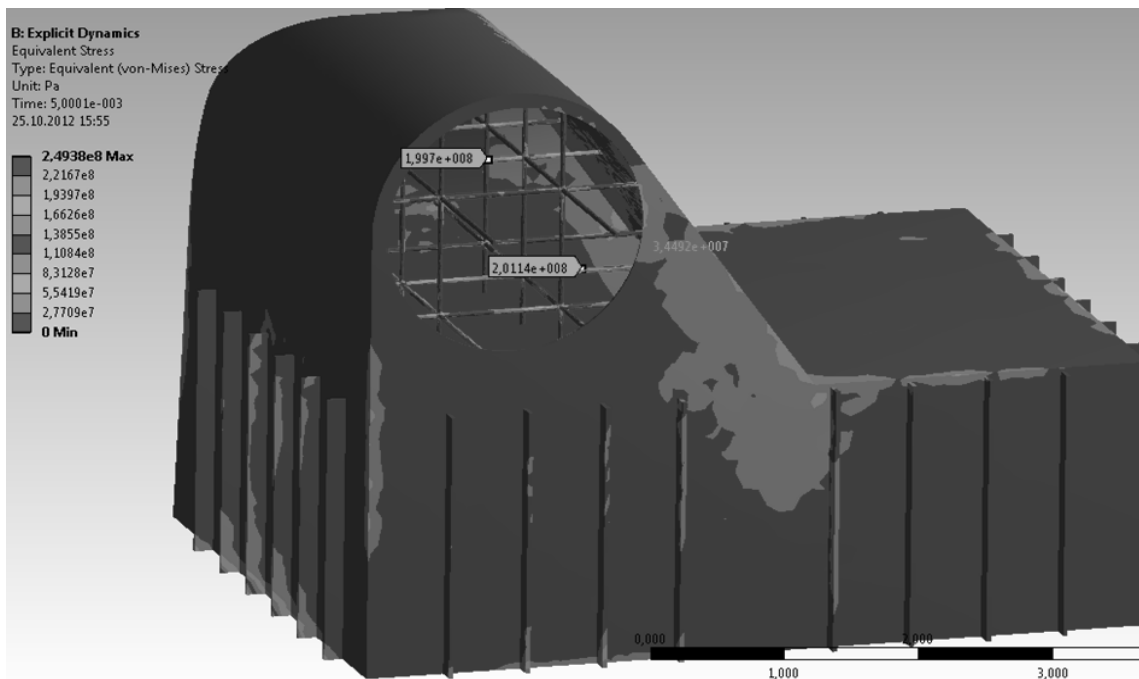


Рис. 1. Распределение напряжений в камере при давлении 0,1МПа.

© М.А. Солохин, 2013

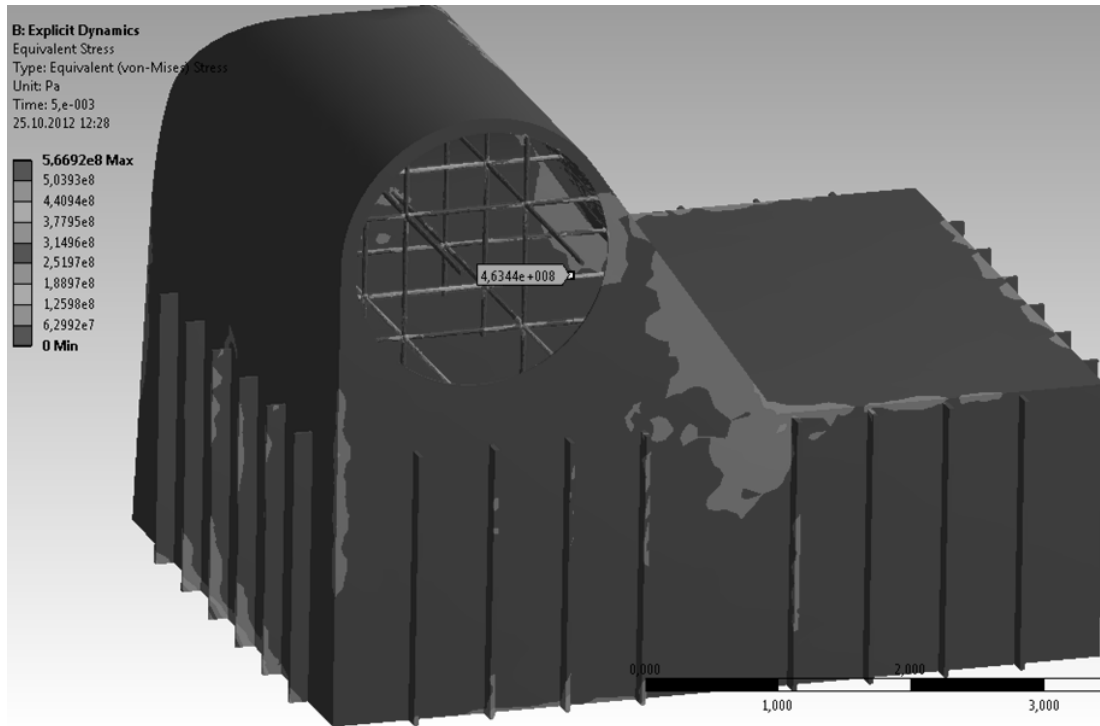


Рис. 2. Распределение напряжений в камере при давлении 0,2МПа.

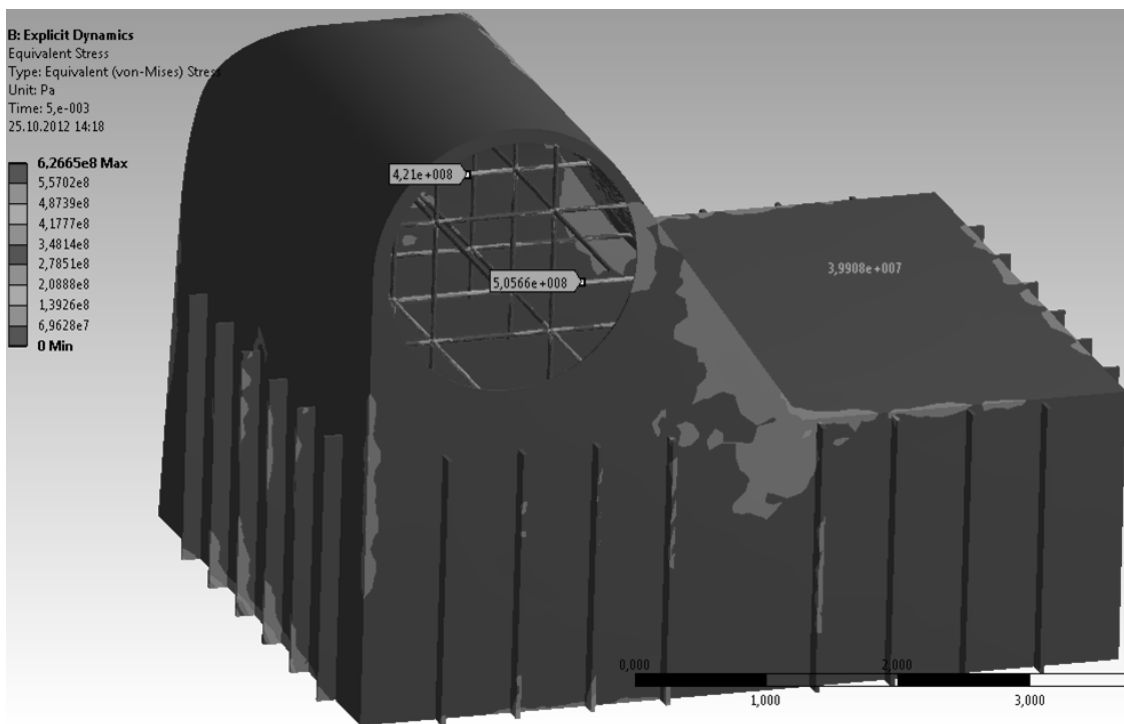


Рис. 3. Распределение напряжений в камере при давлении 0,22МПа.

Как видно из результатов расчёта, в ненапряжённой конструкции при динамическом воздействии наблюдается опасно высокий уровень напряжений.

Проведём тестовые расчёты для элементов водяной камеры: стяжки и участка плоской стенки. Результаты данных расчётов представлены на рис. 4-8.

На рис. 4 представлено результат розрахунку стяжки при осевому впливі динамічно прикладеної сили (4000 Н).

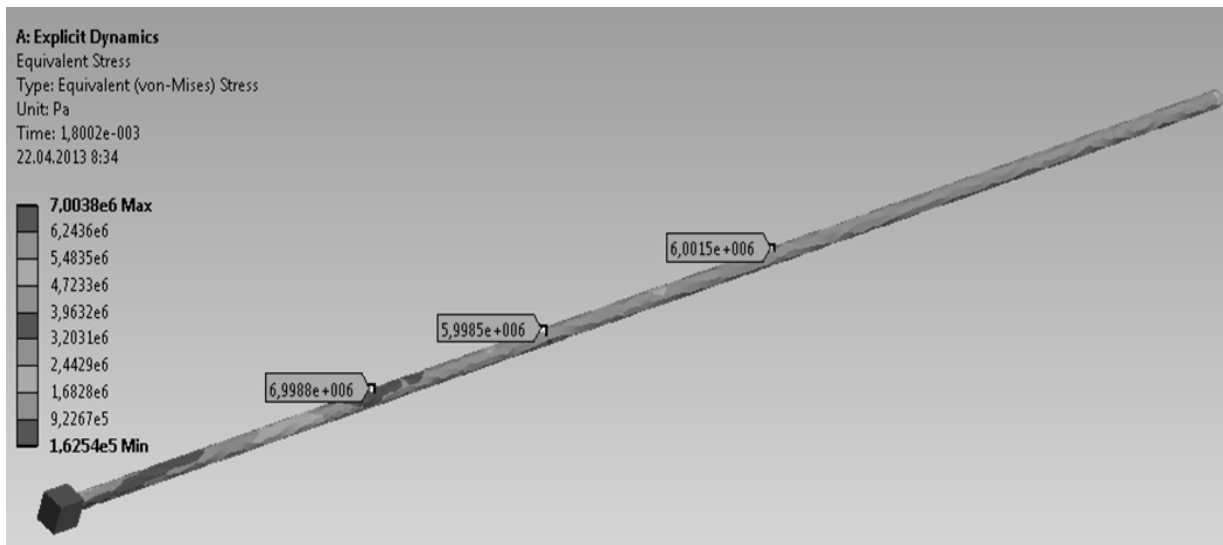


Рис. 4. Напряжения в стяжке при динамическом воздействии.

Проведём аналогичный расчёт для стяжки, предварительно нагрузив её статической осевой силой 2000 Н. Отклик конструкции на такое воздействие показан на рис. 5

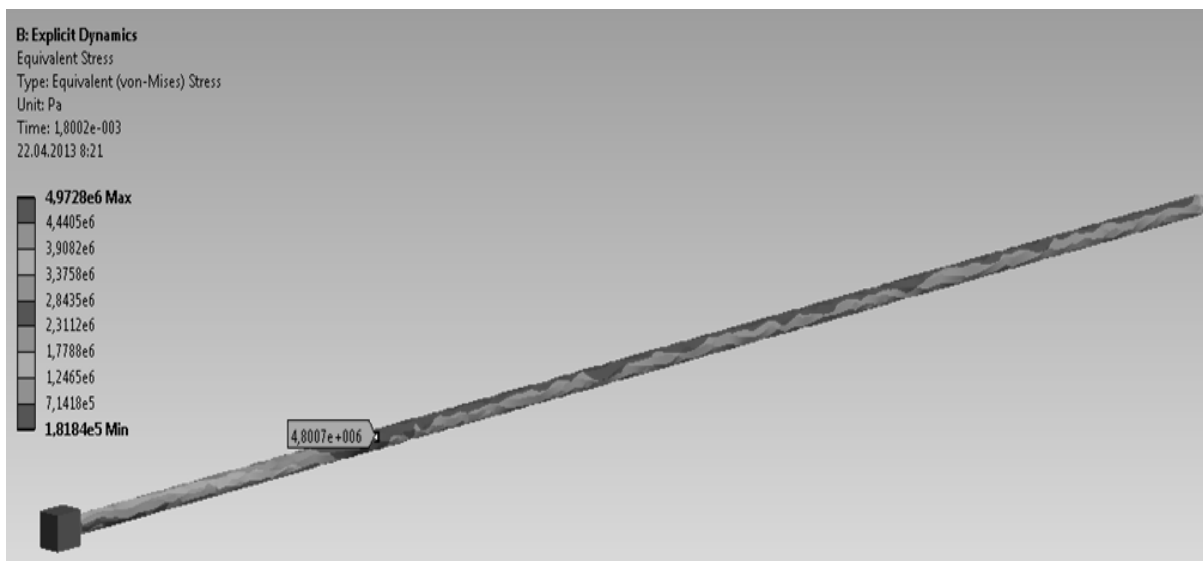


Рис. 5 Напряжения в предварительно напряжённой стяжке при динамическом воздействии.

В первом случае максимальный уровень напряжений составляет 7 МПа, что значительно превышает уровень напряжений в предварительно нагруженном стержне (4,97 МПа). Отсюда следует, что предварительно растянутый стержень лучше воспринимает динамическую осевую нагрузку.

Далее подобные расчётные исследования были проведены для элемента плоской стенки водяной камеры при динамически приложенном давлении 1 МПа. Результаты расчётов представлены на рис. 6-7.

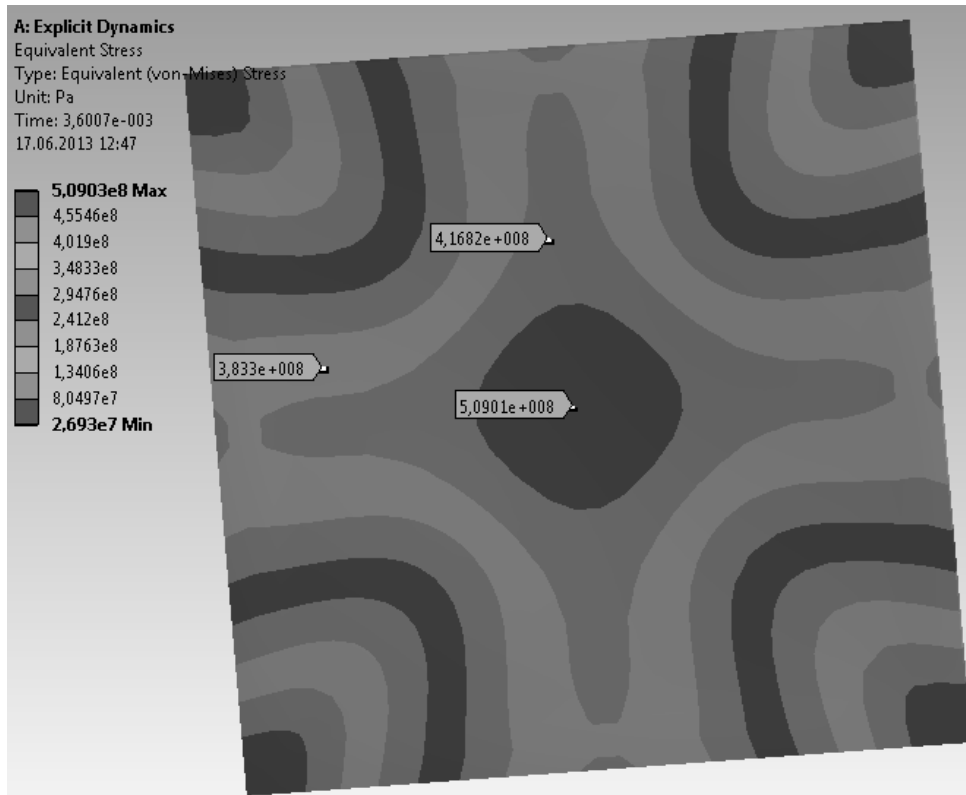


Рис. 6 Напряжения в ненапряжённой стенке при динамическом воздействии.

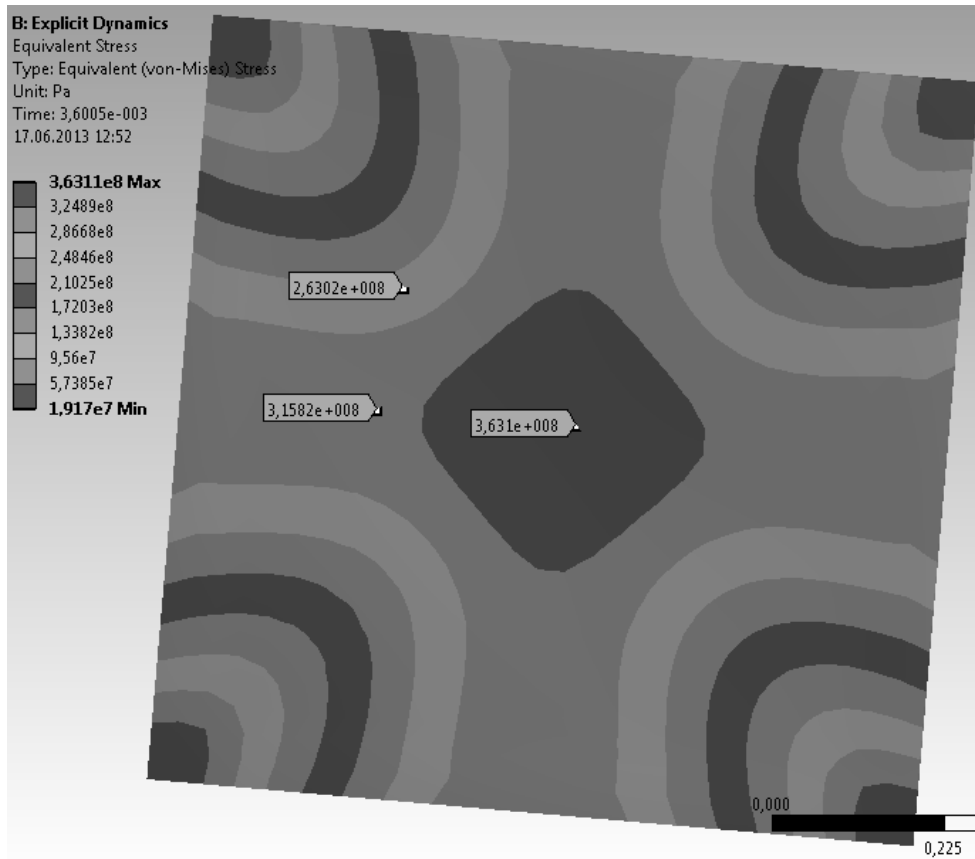


Рис. 7 Напряжения в предварительно напряжённой стенке при динамическом воздействии.

Как видно из результатов, уровень напряжений в предварительно напряжённой стенке значительно ниже. Данный результат подтверждается натурными испытаниями, при которых методом тензонометрирования было проведено исследование напряжённо-деформированного состояния плоских и пологих оболочек и установлено, что при определённых граничных условиях напряжения в пологих панелях значительно ниже, чем в плоских.

Для подтверждения соответствия результатов расчёта результатам эксперимента был проведен расчёт НДС пологой оболочки с размерами, аналогичными размерам использованной выше пластины и кривизной, соответствующей прогибу пластины от предварительного напряжения. Результаты представлены на рис. 8.

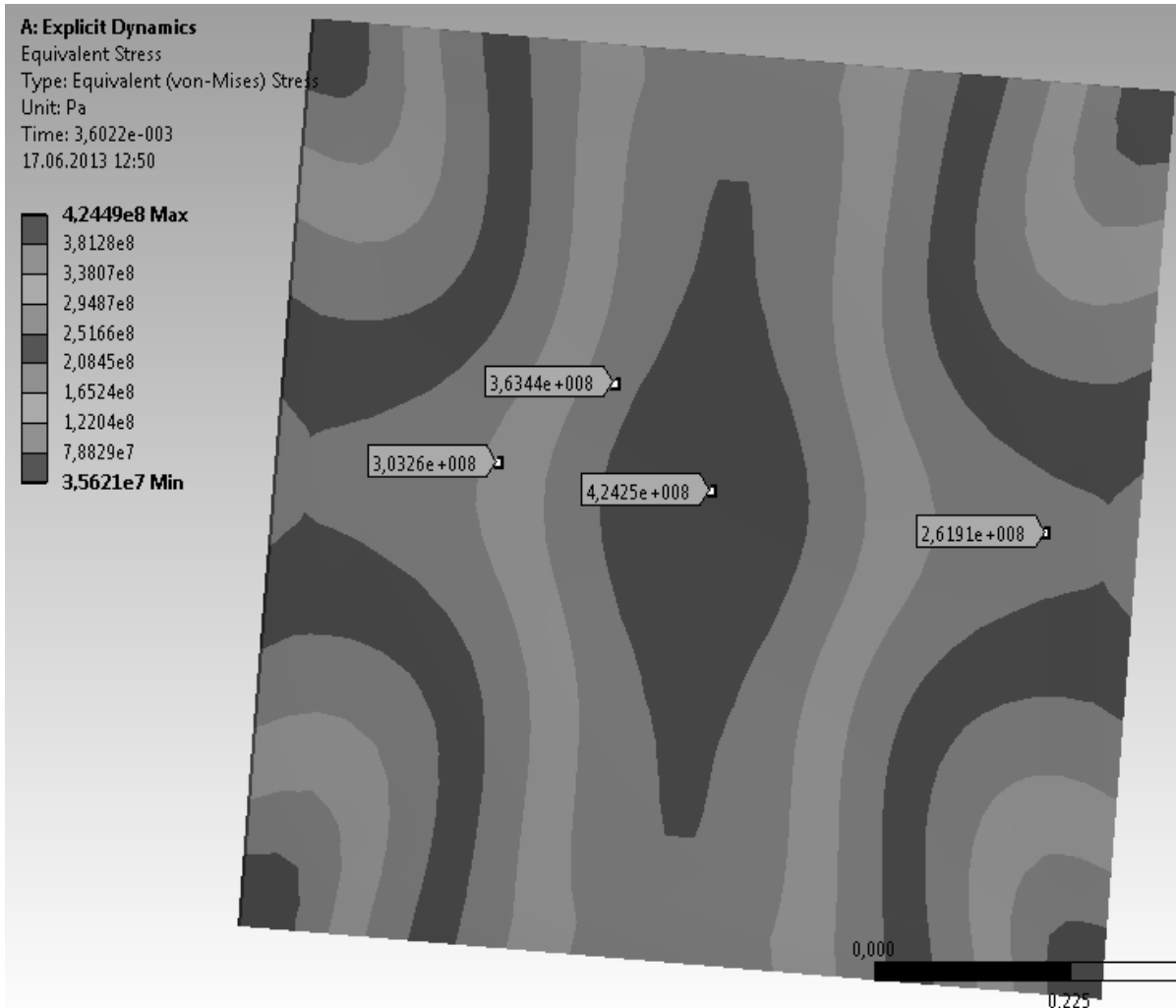


Рис. 8 Напряжения в пологой оболочке при динамическом воздействии.

Уровень напряжений в пологой оболочке приблизительно соответствует уровню напряжений в предварительно нагруженной пластине.

Проведём расчёт НДС водяной камеры при динамическом воздействии, нагрузив её рабочим давлением 0,2МПа и нагрузками от циркуловодова. Результаты статического расчёта показаны на рис. 9.

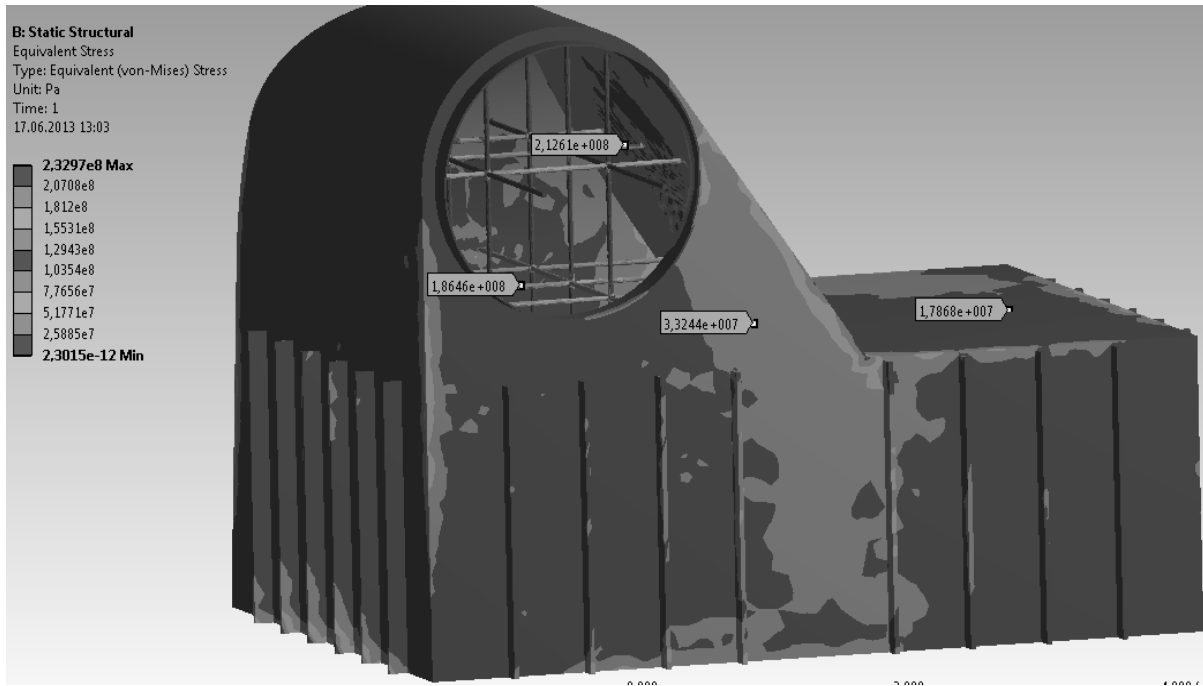


Рис. 9. Статические напряжения при воздействии рабочего давления.

Напряжения в конструкции находятся в допустимых пределах. Приложим на предварительно напряжённую конструкцию следующие величины динамических давлений: 0,1МПа, 0,2МПа, 0,22МПа. Результаты динамического расчёта показаны на следующих трёх рисунках (рис. 10-12).

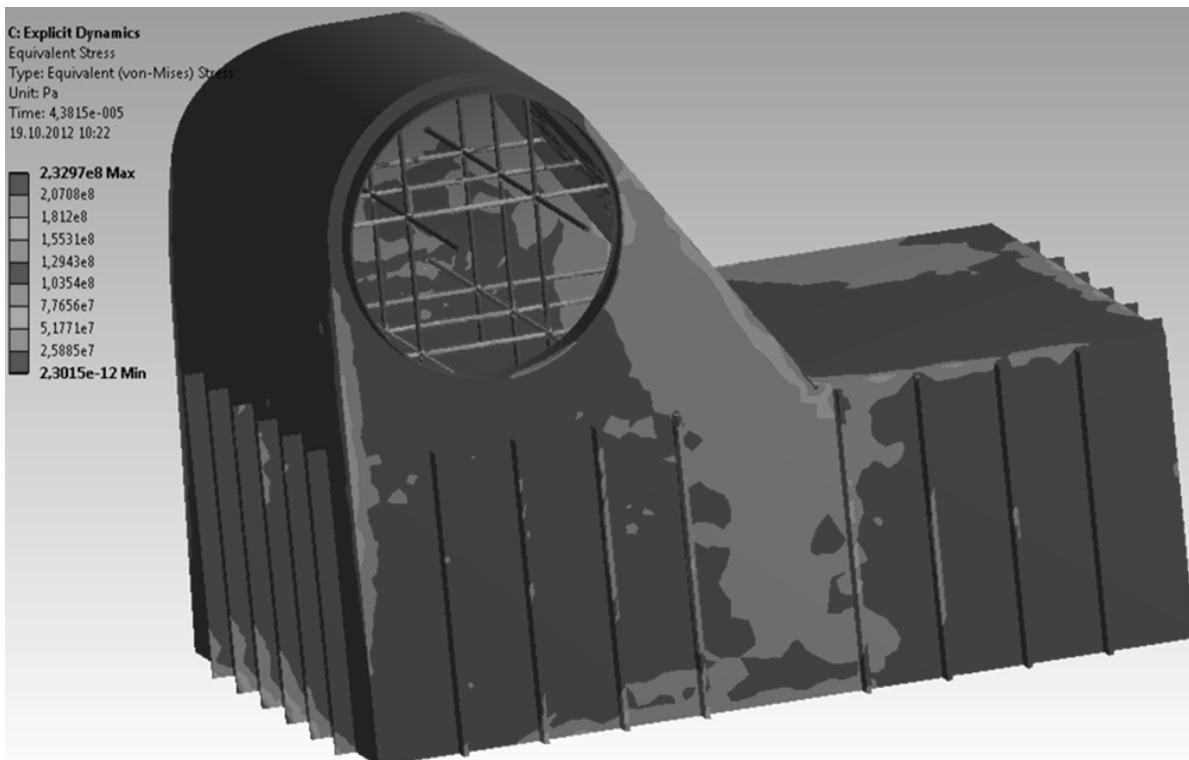


Рис. 10. Распределение напряжений в камере при динамическом давлении 0,1МПа.

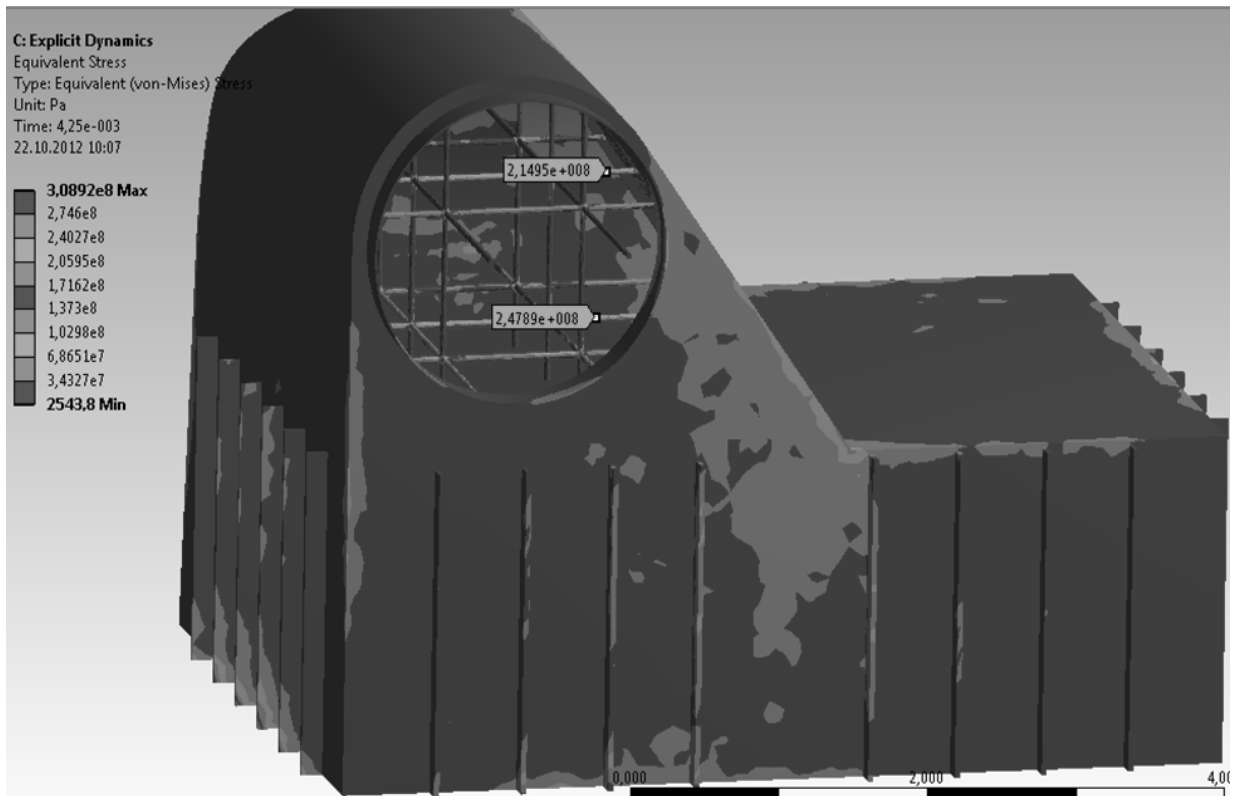


Рисунок 11. Распределение напряжений в камере при динамическом давлении 0,2МПа.

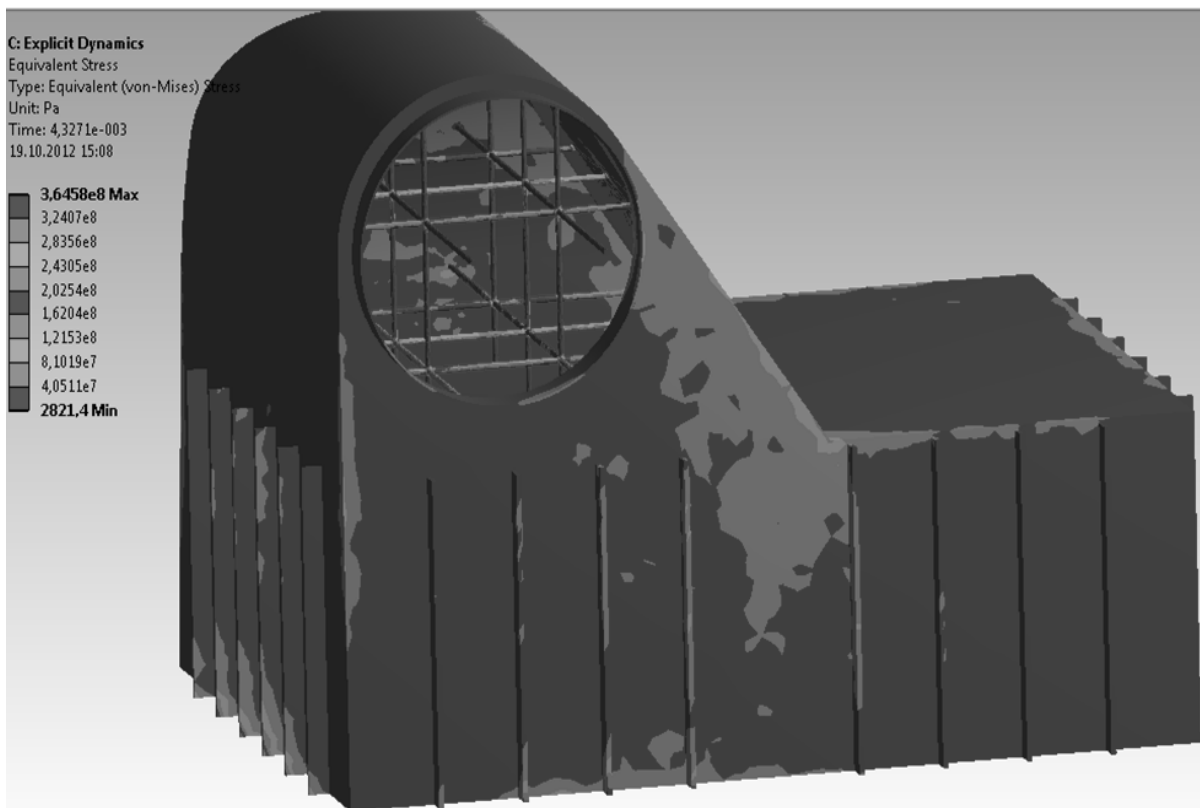


Рис. 12. Распределение напряжений в камере при динамическом давлении 0,22МПа.

Из расчётов видно, что пока динамическое давление не превышает статическое, напряжения находятся в допустимых пределах.

Для сравнения обоих способов нагружения конструкции, на следующем рисунке приведены графики зависимости напряжений от величин динамического давления. Для задания зависимости были взяты максимальные общие напряжения в стержнях.

Ряд 1 – зависимость для конструкции без предварительного напряжения, ряд 2 – для конструкции с предварительным напряжением. Судя по графику, максимальная динамическая нагрузка, которую может воспринять предварительно напряжённая конструкция, составляет около 0.17 МПа. В конструкции без предварительного нагружения нежелательный уровень напряжений возникает уже при приложении нагрузки около 0.1 МПа.

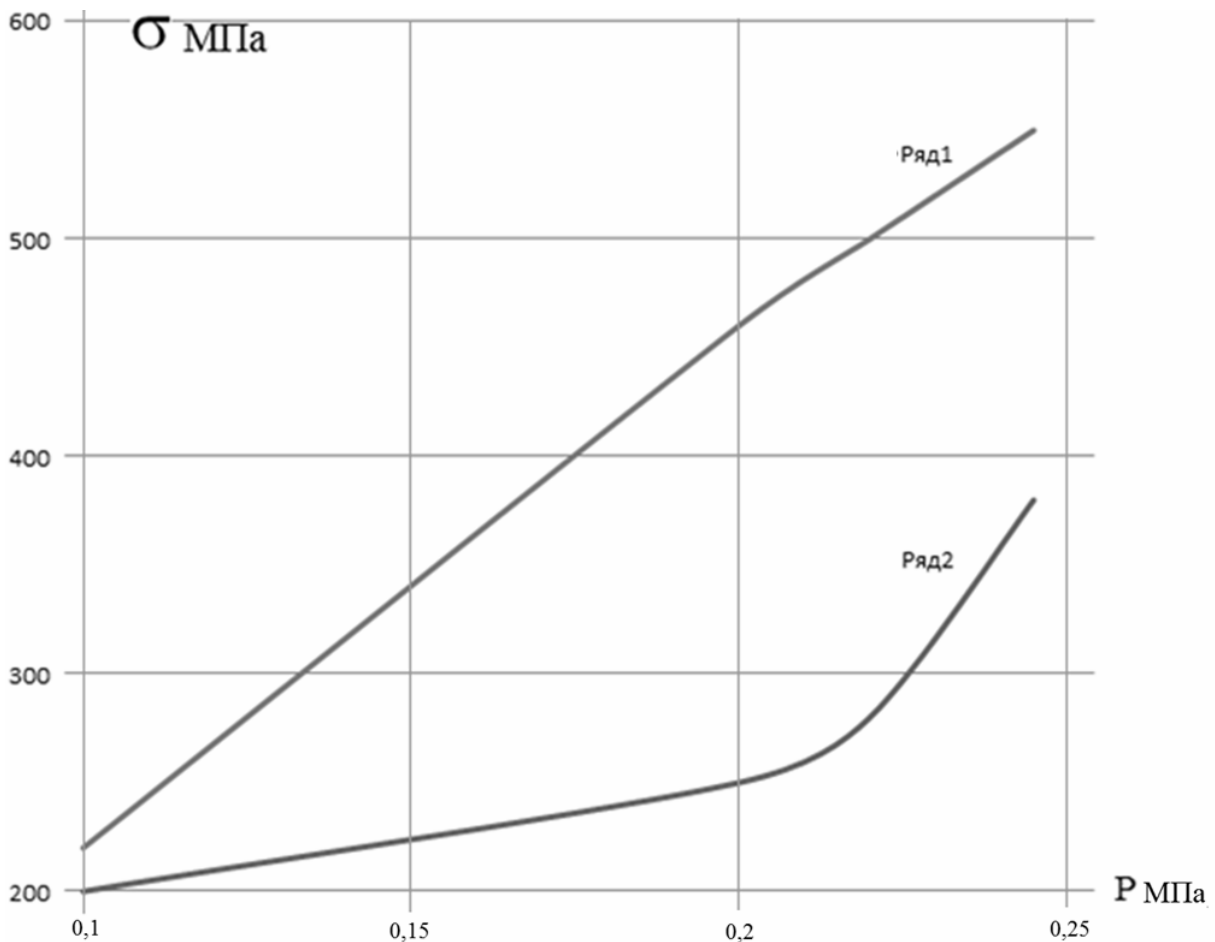


Рис. 8. Зависимость величины напряжений от динамического давления при разных способах нагружения.

**Вывод.** Предварительно нагруженная конструкция много лучше воспринимает динамическую нагрузку, чем конструкция без предварительного нагружения, что частично подтверждено натурными испытаниями. В случае превышения давлением динамического воздействия величины статического давления в предварительно нагруженной конструкции напряжения от динамического воздействия начинают резко возрастать.



**Литература:** 1. Трухний А.Д. Стационарные паровые турбины / А. Д. Трухний, С. М. Лосев. – М: Энергоиздат, 1981 – 456 с. 2. Материалы и оборудование ТЭС / [В. М. Боровков, Л. Б. Гецов, Ю. С. Воробьев, А.Я.Копсов, С.В.Петин. и др.] – СПб: Политехнический университет, 2008. – 611 с. 3. Зинкевич О. К. Метод конечных элементов в технике / О. К. Зинкевич – М: Мир 1978, 519 с. 4. Метод конечных элементов в технике твёрдых тел / [ред. А. С. Сахаров, И. Альтенбах.] – Киев. Вища школа, 2005. – С. 182 - 480.

**Bibliography (transliterated):** 1. Trukhniy A. D. Statsionarnyye parovyye turbiny / A. D. Trukhniy, S. M. Losev. – M: Energoizdat, 1981 – 456 s. 2. Materialy i oborudovaniye TES / [V. M. Borovkov, L. B. Getsov, Yu. S. Vorobyev, A. Ya. Kopsov, S. V. Petinov. i dr.] – SPB: Politekhnicheskii universitet, 2008. – 611 s. 3. Zinkevich O. K. Metod konechnykh elementov v tekhnike / O. K. Zinkevich – M: Mir 1978, 519 s. 4. Sakharov A.S. Metod konechnykh elementov v tekhnike tverdykh tel / [A. S. Sakharov, I. Altenbakh.] – Kiyev. Vishcha shkola, 2005. – S. 182 - 480.

Солохин М.А., Воробьев Ю.С., Губский А.Н.

ВЛИЯНИЕ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО НАГРУЖЕНИЯ ВОДЯНОЙ КАМЕРЫ  
КОНДЕНСАТОРА ПАРОВОЙ ТУРБИНЫ НА ОТКЛИК ОТ ДИНАМИЧЕСКОГО  
ВОЗДЕЙСТВИЯ

Рассчитано напряженно-деформированное состояние в водяной камере конденсатора паровой турбины большой мощности при динамическом воздействии с предварительным нагружением и без него. Проведена оценка работоспособности водяной камеры для обоих случаев нагрузки.

Солохин М.А., Воробьев Ю.С., Губский О.М.

ВПЛИВ ПОПЕРЕДНЬОГО НАВАНТАЖЕННЯ ВОДЯНОЇ КАМЕРИ  
КОНДЕНСАТОРА ПАРОВИХ ТУРБІН НА ВІДГУК ВІД ДИНАМІЧНОГО ВПЛИВУ

Розраховано напружено-деформований стан у водяній камері конденсатора парової турбіни великої потужності при динамічному впливі з попередніми навантаженнями і без нього. Проведена оцінка працездатності водяної камери для обох випадків навантаження.

Solokhin M. A., Vorobiev Y. S., Gubskii A. N.

EFFECT OF PRE-LOADING WATERBOX STEAM TURBINE CONDENSER ON  
RESPONSE OF DYNAMIC LOADING

Stress-strain state in a water chamber of the condenser steam turbine power with a large dynamic action with a pre-loaded without it was calculated. The evaluation of efficiency water chamber for both cases of loading was carried out.