

Алгоритм оценки показаний датчиков, расположенных на ферменной конструкции

В настоящее время существует множество различных способов определения напряженно-деформированного состояния (НДС) объектов. Одним из наиболее широко распространенных способов является установка тензометрических датчиков на объект. Оценить точность результатов, полученных с помощью датчиков, возможно проведением натуральных экспериментов и дальнейшим их сравнением с расчетными значениями.

В данной работе был создан алгоритм для оценки показаний датчиков, расположенных в различных частях конструкции, на примере сварной ферменной конструкции (далее фермы).

Были созданы экспериментальная ферма и ее расчетная модель.

Был проведен **машинный эксперимент**, и выбраны точки (данные точки условно названы датчиками машинного эксперимента) на **расчетной модели** в качестве эталонов.

На **экспериментальной ферме** были равномерно расставлены датчики деформации, и проведен **натурный эксперимент**.

После проведения экспериментов полученные показания датчиков были сравнены с расчетными значениями напряжений в соответствующих точках.

Натурный эксперимент

Ферма представляет собой металлоконструкцию, состоящую из пяти пролетов, шарнирно закрепленных на концах (рис. 1). Пролеты соединены между собой боковыми связями и состоят из:

- верхнего пояса (3 панели);
- нижнего пояса (4 панели);
- раскосов (2 опорных, 2 восходящих, 4 нисходящих);
- косынок (7 шт.).

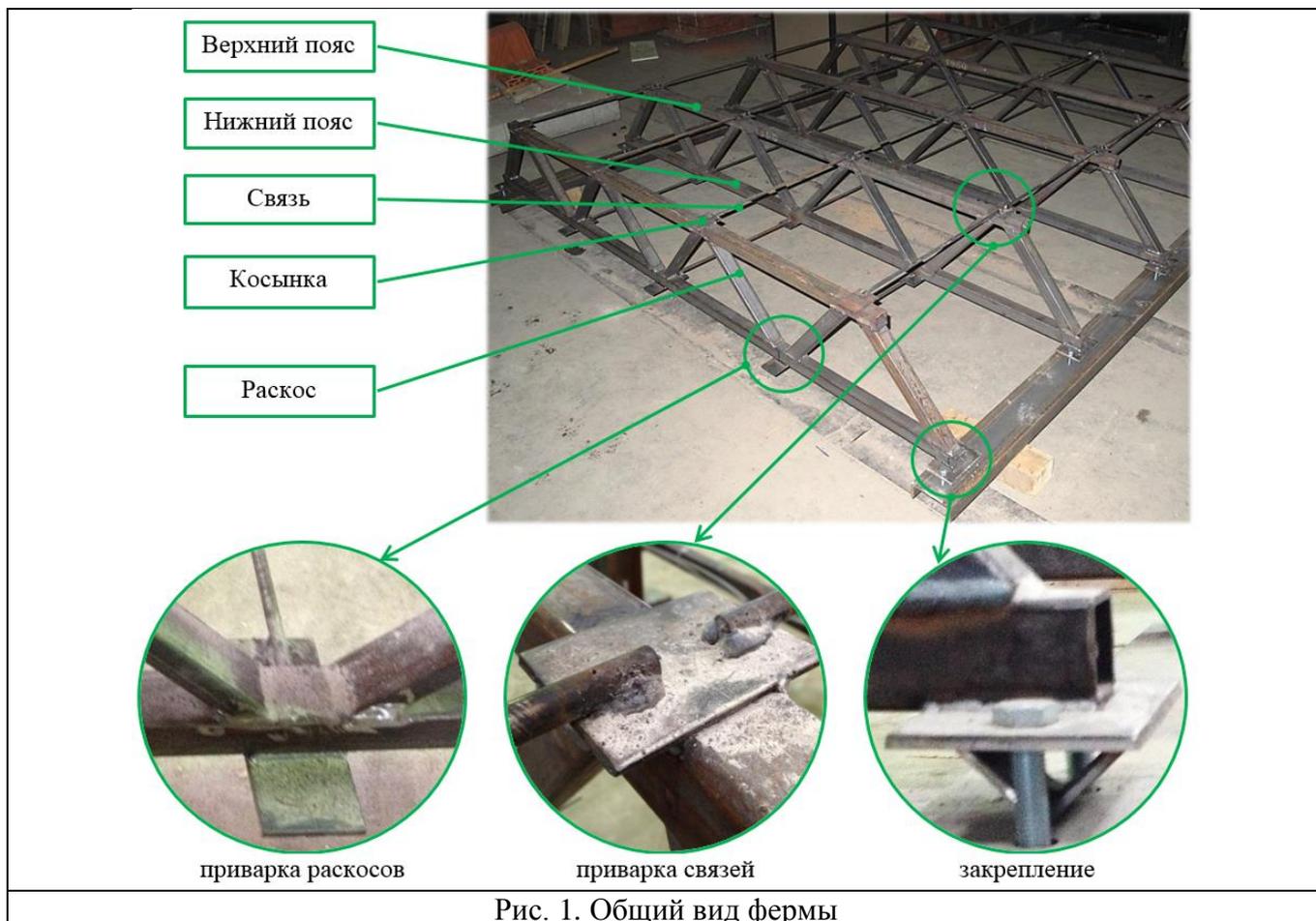


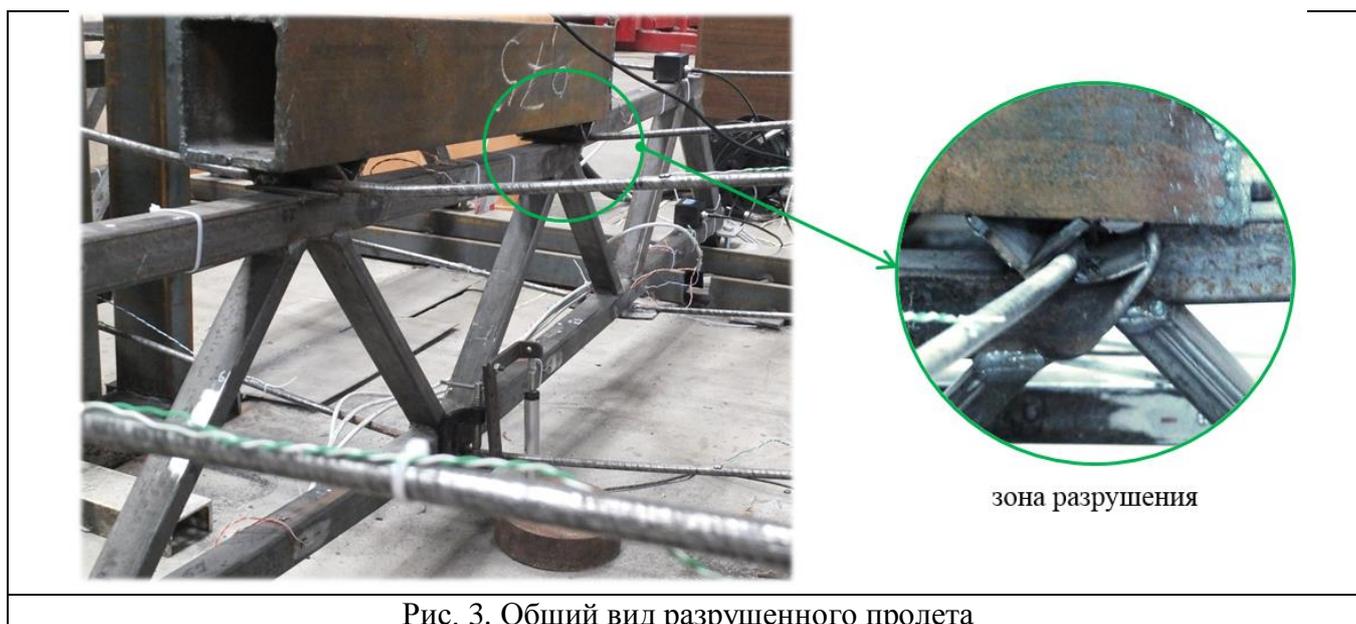
Рис. 1. Общий вид фермы

Для испытания фермы был собран стенд (рис. 2), включающий в себя:

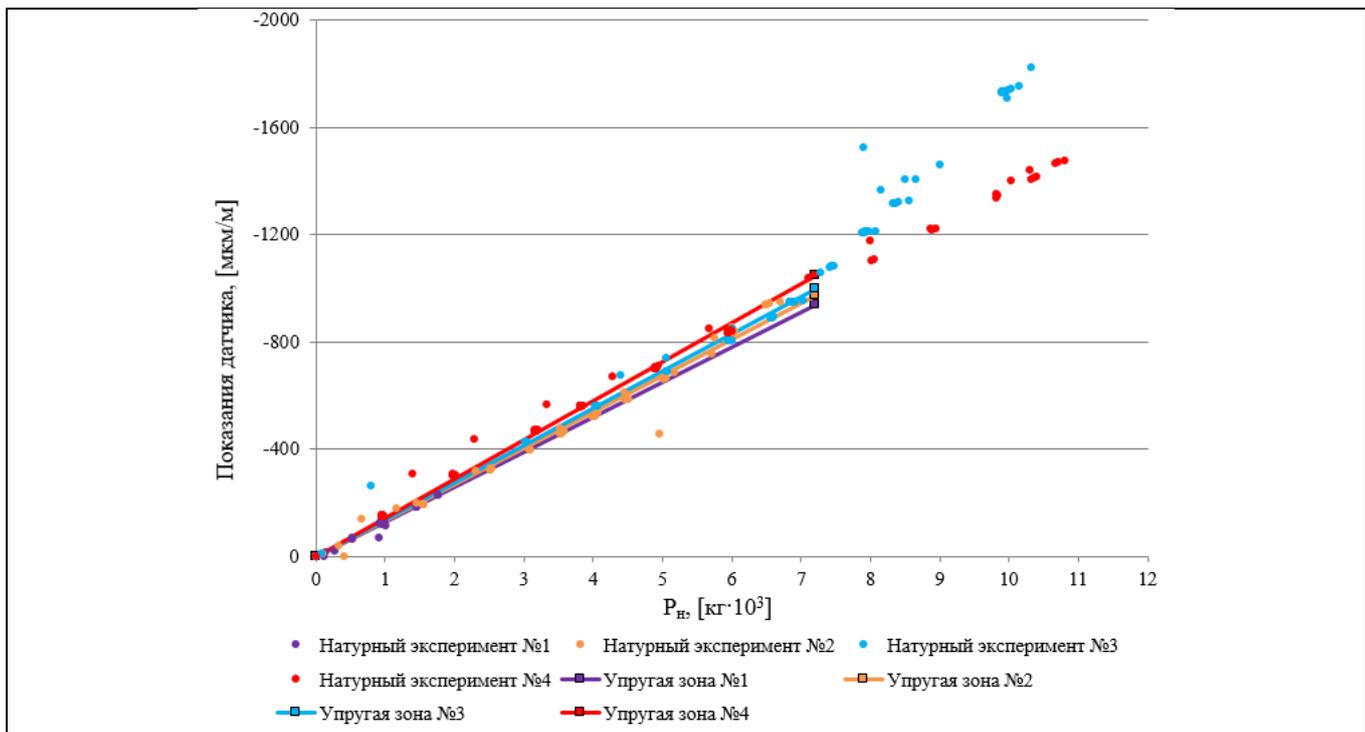
- ферму, с установленными на ней тензометрическими датчиками;
- гидравлический пресс со специальным приспособлением для передачи внешней нагрузки.



Было проведено 4 эксперимента нагружения фермы с постепенным увеличением максимальной внешней нагрузки. В эксперименте №4 произошло разрушение центрального пролета (рис. 3).



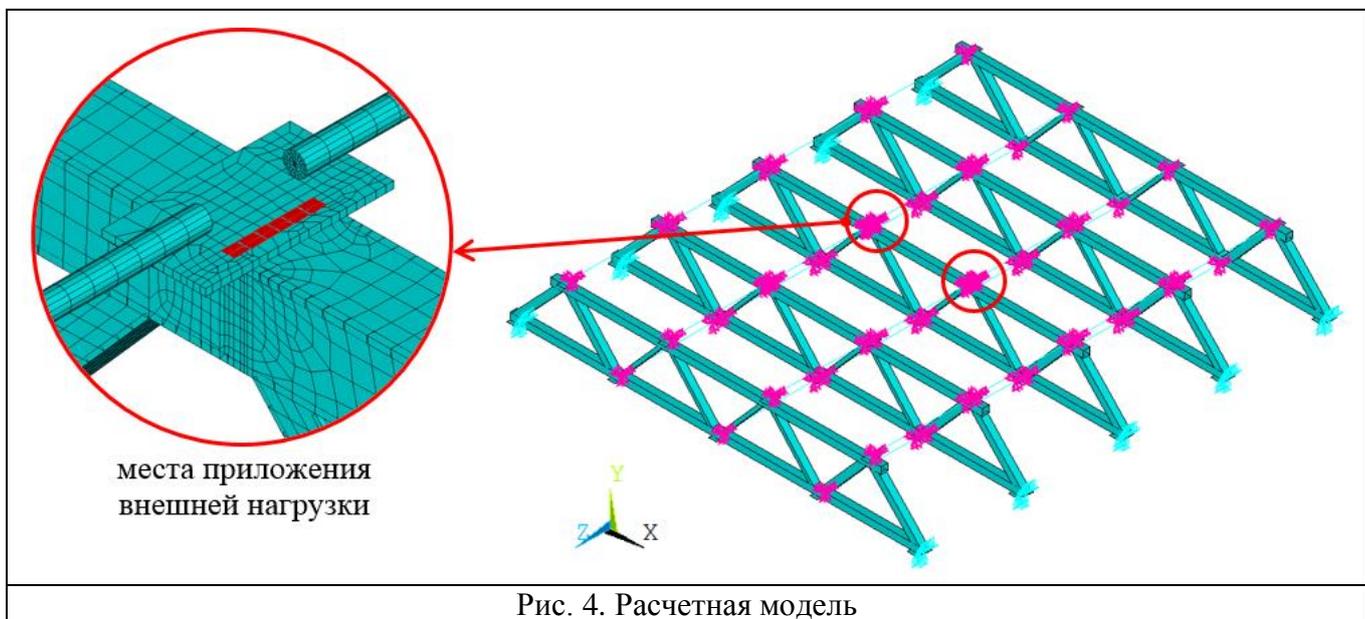
Полученные показания датчиков были аппроксимированы прямой линией в упругой зоне, и построены графики показаний датчиков от внешней нагрузки. В качестве примера рассмотрен график для датчика №54, расположенного на центральном пролете (граф. 1).



Граф. 1. Показания датчика №54 от внешней нагрузки P_n , [мкм/м]

Машинный эксперимент

В системе трехмерного твердотельного и поверхностного проектирования Autodesk Inventor LT была создана поверхностная модель фермы. Поверхностная модель была импортирована в универсальную программную систему конечно-элементного анализа ANSYS, где на ее основании автоматически была сгенерирована сетка, и создана конечно-элементная модель фермы. Расчетная модель (рис. 4) была получена, приложением к конечно-элементной модели нагрузок (собственный вес и внешняя нагрузка).



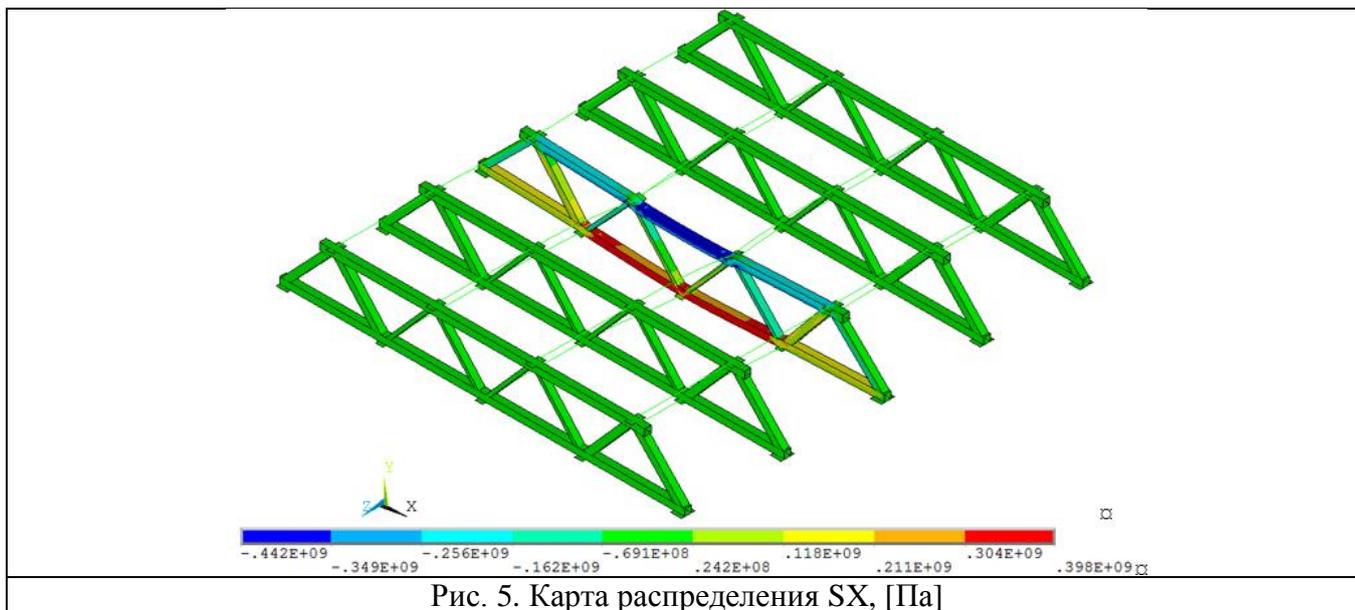
По результатам расчета был определен:

критический элемент - элемент, напряжение в котором первым достигает предела текучести при увеличении нагрузки;

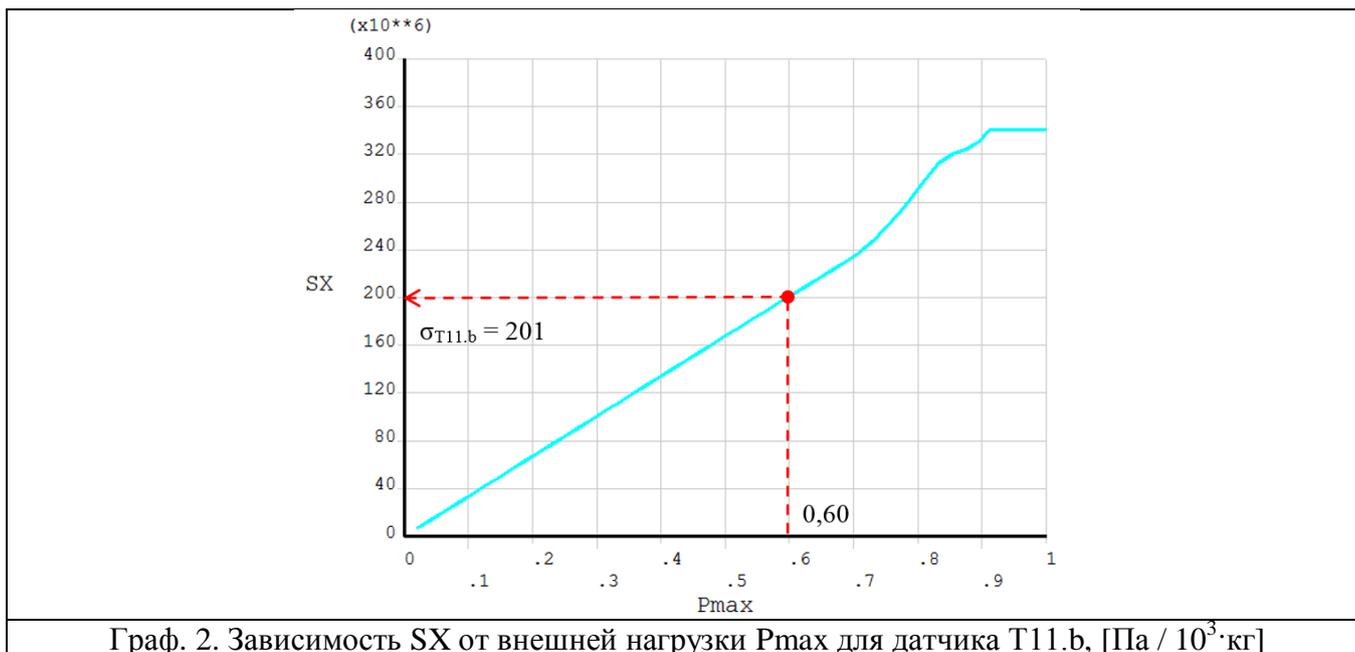
P_T - значения нагрузки, при которых в критическом элементе достигается предел текучести;

P_B - значение нагрузки, при которых в критическом элементе достигается предел прочности.

Карты распределения составляющих напряжений по оси OX (SX) представлены на (рис. 5).



В местах расположения датчиков машинного эксперимента при значениях нагрузки P_T были определены напряжения (σ_i). Для этого были построены графики зависимости SX от внешней нагрузки P_{max} . В качестве примера рассмотрен график для датчика T11.b, соответствующего тензодатчику №54 (граф. 2).



Сравнительный анализ

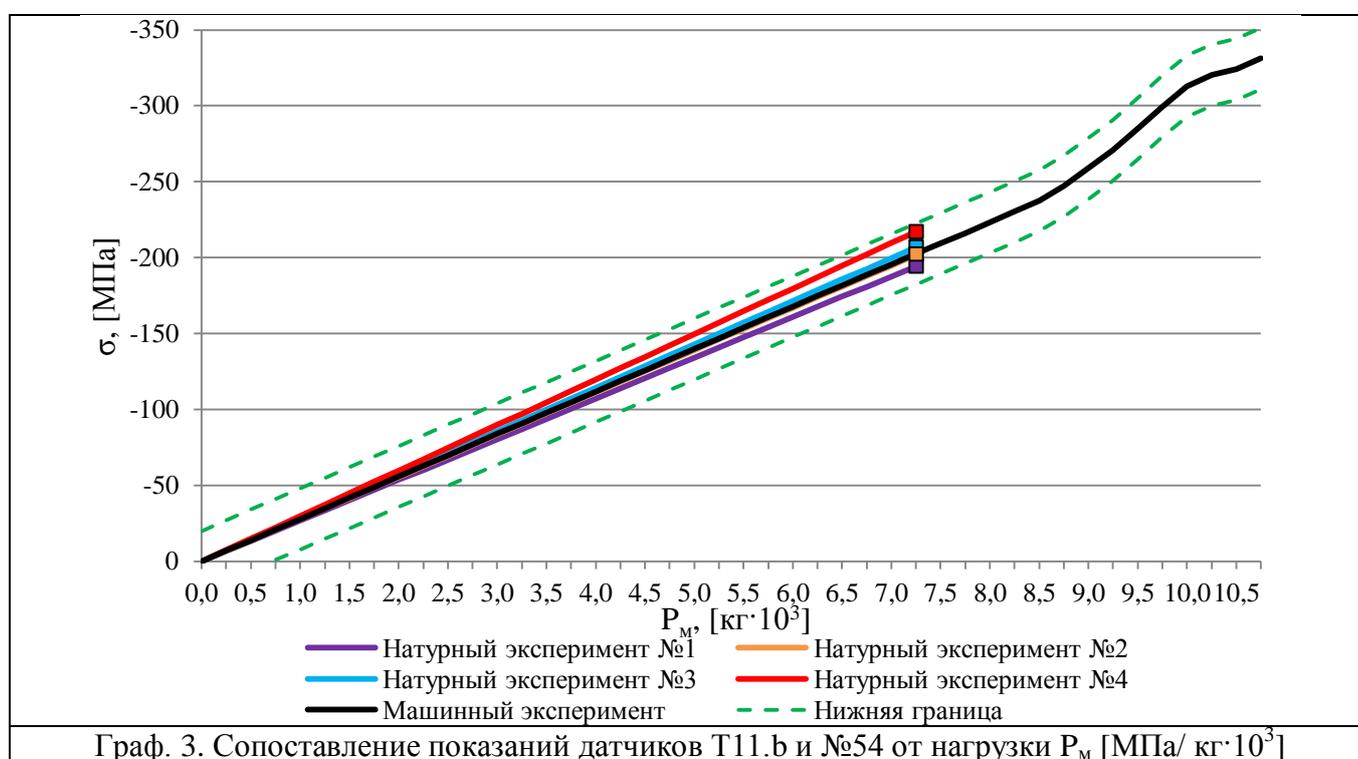
Для определения мест установки датчиков, позволяющих достоверно оценить НДС фермы, сравнивались результаты натурального и машинного эксперимента.

Сравнение показаний производилось в осях “напряжение-нагрузки” для **пар сопоставления**, образованных датчиками машинного эксперимента и соответствующих им датчиков натурального эксперимента.

Для оценки совпадения показаний датчиков машинного и натурального эксперимента использовался счетчик N - количество попаданий показаний датчиков натурального эксперимента в доверительный интервал.

Верхняя граница доверительного интервала составляет +10% от σ_i , нижняя граница доверительного интервала составляет -10% от σ_i . Пара сопоставления считалась удовлетворительной, если $N=100\%$ для каждого эксперимента.

Были построены графики зависимости показаний от нагрузок для пар сопоставления. В качестве примера выбрана пара сопоставления T11.b-54 (граф. 3).



Для выбранной пары сопоставления $N=100\%$.

Выводы:

- 1) Чтобы датчики имели высокую повторяемость и линейную зависимость показаний от нагрузки, их требуется устанавливать как можно ближе к зонам с повышенными напряжениями.
- 2) Чтобы достоверно регистрировать НДС фермы, датчики требуется устанавливать в зону с однородным полем напряжений, а не в зоны концентрации.
- 3) Зоны с повышенными напряжениями, с однородным полем напряжений и зоны концентраций необходимо определять расчетом.
- 4) Место разрушения в натурном эксперименте совпало с одной из зон максимальных напряжений в машинном эксперименте. Точность совпадения величины P_b составила 6%.

5) Для установленных датчиков в диапазоне нагрузок от 0 до P_T возможно ввести границы индикаторных интервалов:

зелено-желтая – нагрузки достигли величины расчетных нагрузок;

желто-красный – напряжения в ферме достигли допустимых напряжений.

Расчетные нагрузки и допустимые напряжения определяются для каждого конкретного случая и зависят от условий работы и степени ответственности фермы.

6) В результате исследовательской работы создан алгоритм оценки показаний датчиков (рис. 6).

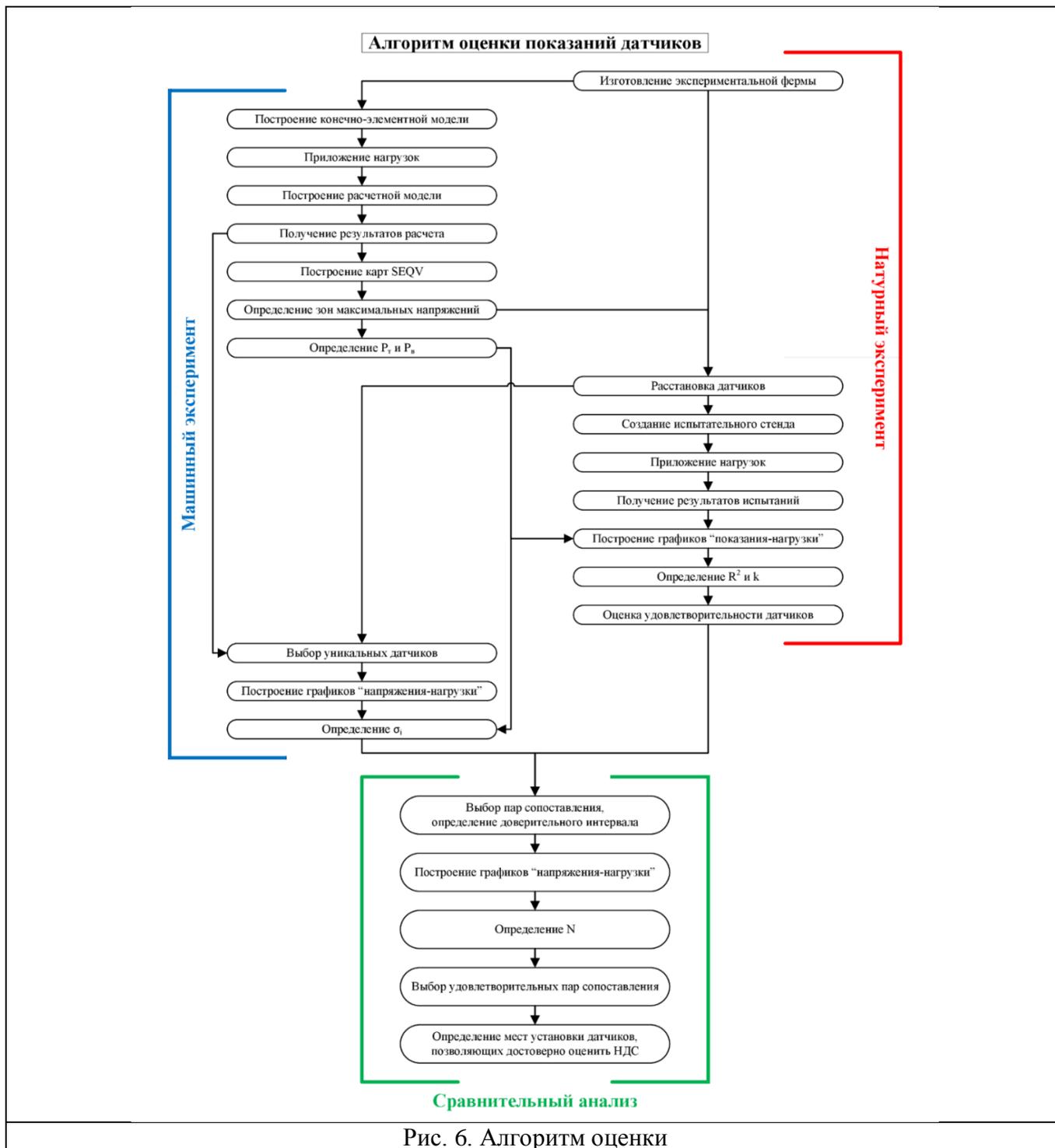


Рис. 6. Алгоритм оценки