

**Е.Н. БАРЧАН**, ОАО “Головной специализированный конструкторско-технологический институт”, г. Мариуполь,  
**А.В. ГРАБОВСКИЙ**, НТУ „ХПИ”

## ВЕРИФИКАЦИЯ ЧИСЛЕННЫХ МОДЕЛЕЙ ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ ВЫБИВНОЙ МАШИНЫ С ПОМОЩЬЮ СОВРЕМЕННЫХ САПР

У представленій статті описується весь цикл проведених раніше досліджень інерційної вибивної машини з дебалансними вібробудівниками, встановленої в автоматизованій лінії для крупного вагонного литва. Проводиться верифікація отриманих раніше результатів шляхом порівняння числових і експериментальних даних.

In the presented article the whole cycle of the researches of inertia knock-out machine conducted before is described with unbalance vibration exciter set in the automated line for the large carriage casting. Verification of the results got before is conducted, by comparison of numeral and experimental data.

**1. Состояние вопроса.** В представленных ранее работах [1-9] проводилось численное и экспериментальное исследование прочностных характеристик вибивной машины (ВМ). В работах [1-4] представлена общая схема и особенности расчета напряженно-деформированного состояния (НДС) и направление исследования. В работе [5] описывается экспериментальное поведение исходной вибивной машины. Однако, в связи с тем, что эта машина проектировалась в рамках классической теории [6], спроектированная вибивная машина оказалась неработоспособной, и в ней часто происходили поломки. Выход из строя последнего звена уникальной линии KW (рис. 1) приводил к ее остановке, что недопустимо для такого дорогостоящего оборудования.



Рис. 1. Общая схема уникального формовочного комплекса, установленного в ЗАО „АзовЭлектроСталь”, и продукция, производящаяся на этой линии

Из расчетно-экспериментальных исследований в работе [7] были получены нагрузки, действующие на конструкцию в процессе эксплуатации.

В работе [7] было предложено исследовать не только прочностные, но и жесткостные характеристики корпуса, такие как собственные частоты и соответствующие им собственные формы. В результате исследований был выявлен большой недостаток спроектированной на основе классической теории выбивной машины, а именно: ее рабочий режим был приближен к первой деформационной собственной частоте, что является недопустимым. Там же производится усовершенствование конструкции путем изменения геометрии модели и численного исследования. В результате проведенной работы была получена рациональная структура конструкции ВМ.

Таким образом, была получена выбивная машина, отстроенная от резонансных деформационных собственных частот и с удовлетворительными характеристиками напряженно-деформированного состояния.

В работе подробно описано напряженно-деформированное состояние до усовершенствования и после оптимизации, приведены картины распределения напряжений, что показало работоспособность новой выбивной машины. После этого машина была сделана „в металле”, и в работе [8] описаны характеристики НДС, полученные в результате экспериментального исследования. Полученные результаты по напряжениям не превышают допустимых пределов выносливости.

**2. Постановка задачи.** В данной работе предлагается провести верификацию результатов, полученных в результате численного исследования и эксперимента [7-9]. Это сравнение обоснует точность результатов полученных при численных расчетах. На рис. 2 представлен общий вид геометрической модели, построенной в программном пакете SolidWorks, и фотография реального объекта.

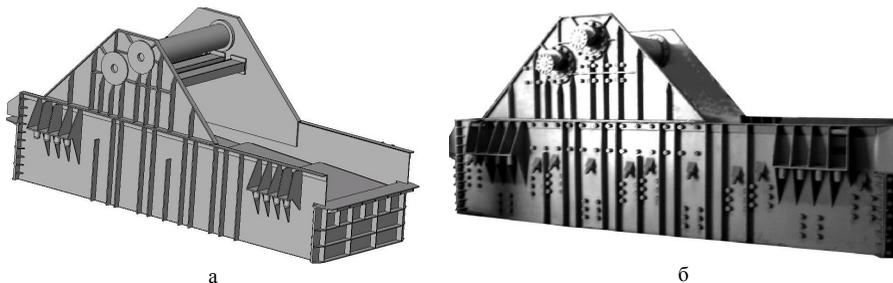


Рис. 2 Внешний вид исследуемой выбивной машины:  
а – геометрическая модель, построенная в пакете SolidWorks;  
б – реальная конструкция, внедренная в производство

Верификация результатов, полученных разными методами (расчетным и экспериментальным), будет проводиться путем сравнения результирующих напряжений, полученных в контрольных точках.

**3. Описание экспериментальных исследований.** Для определения напряженно-деформированного состояния силовых элементов грохота применялся, как уже было описано [8], метод электротензометрии с использованием следующих приборов: тензорезисторы КФ-5-20-100; тензоусилители типа 8 АНЧ-23; портативный компьютер с аналогово-цифровым преобразователем Е-330.

Для исследований был предоставлен полностью смонтированный виброгрохот со штатным электроприводом. Грохот был установлен на раме из балок коробчатого сечения с опиранием на пружины, имитирующие штатные опоры. Напряжения в металлоконструкции грохота измерялись при включенном приводе в двух режимах нагружения:

- 1) на холостом ходу без приложения нагрузки;
- 2) при нагружении испытательным грузом (три цикла нагружения).

Схема установки тензорезисторов приведена на рис. 3.

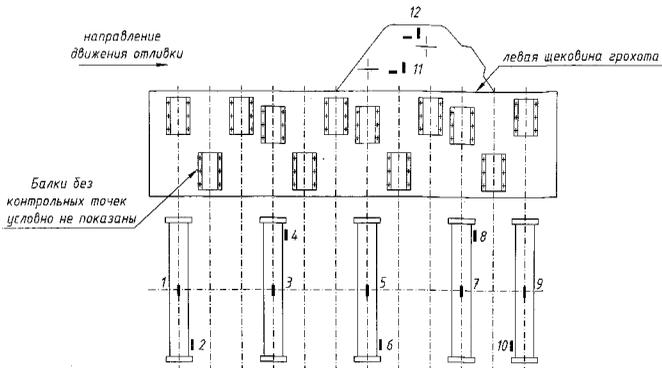


Рис. 3. Схема расположения тензорезисторов на металлоконструкции грохота

Далее производилось сравнение вычисленных ранее распределений компонент тензора напряжений в контрольных точках.

**4. Описание численной модели и типа анализа.** Расчетные исследования проводились на геометрической модели, приведенной на рис. 2. Исследования осуществлялись при помощи метода конечных элементов, реализованного в программном комплексе ANSYS.

Было проведено два типа анализа, а именно статический и переходной динамический анализ [7]. Статический анализ применяется для расчета напряженного состояния от внешнего воздействия для исследуемой выбивной машины. Такое упрощение справедливо потому, что машина проектируется из условий работы в зарезонансной области ( $\omega/\omega_c = 3 \div 4$ , где  $\omega_c$  – собственная частота вертикальных колебаний ВМ как жесткого тела). Для оценки параметров НДС от приводных валов рассматривается металлоконструкция ВМ, на которую воздействуют квазистатические силы (рис. 4, а):  $A$  (амплитуда дебалансного воздействия),  $R$  (амплитуда реакций опор) и  $G$  (инерционные си-

лы).

Для оценки параметров ударного воздействия применяется переходной динамический анализ. Такая постановка задачи связана с тем, что длительность импульса очень мала, и удар можно считать коротким (10,5 мс). Такие характеристики импульса были взяты из осциллограмм при экспериментальных исследованиях [8].

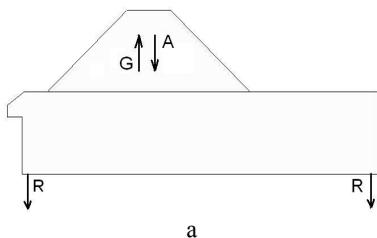


Рис. 4. Расчетные схемы для исследования характеристик НДС ВМ: а – статический анализ; б – переходной динамический анализ.

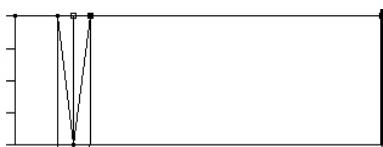
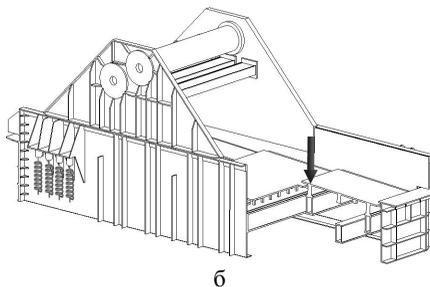


Рис. 5. График силового воздействия для переходного динамического анализа

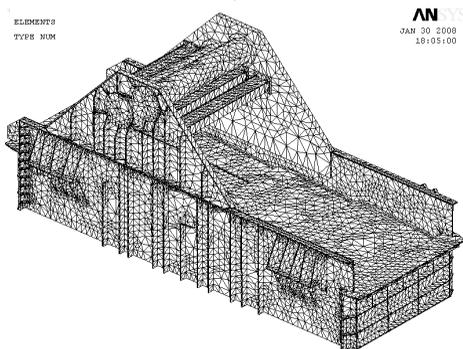
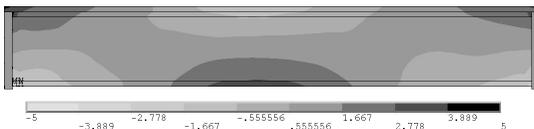


Рис. 6. Конечно-элементная модель ВМ

На рис. 5 приведена схема приложения усилия при импульсном воздействии, показанном на схеме рис. 4б, а на рис. 6 – конечно-элементная модель, состоящая из 127 тыс. конечных элементов (КЭ). В качестве базового КЭ в данном расчете выбран SOLID187.

Рис. 7. НДС балки №2, полученное при статическом типе анализа (МПа)

**5. Сравнение результатов численного и экспериментального исследования.** Сравнивая величины напряжений, полученных разными типами анализа, необходимо заметить, что в постановке была принята гипотеза о линейности системы и суммарности результатов. Это упрощение позволяет складывать величины напряжений, полученные при разных анализах.



На рис. 7 приведено напряженное состояние для балки №2 (приведено напряжение вдоль оси балки, соответствующее оси установки датчика). По полученной картине напряжений можно оценить напряженное состояние на подрешетных балках, возникающее при холостой работе ВМ. При данной реализации металлоконструкции максимальные напряжения в подрешетной балке №3 на уровне 2,5 МПа.

Оценить из экспериментальных данных напряжения, возникающие в балке при холостом ходе, можно по диаграмме, приведенной на рис. 8 (холостой ход на этой диаграмме с 24-29 тыс. единиц).

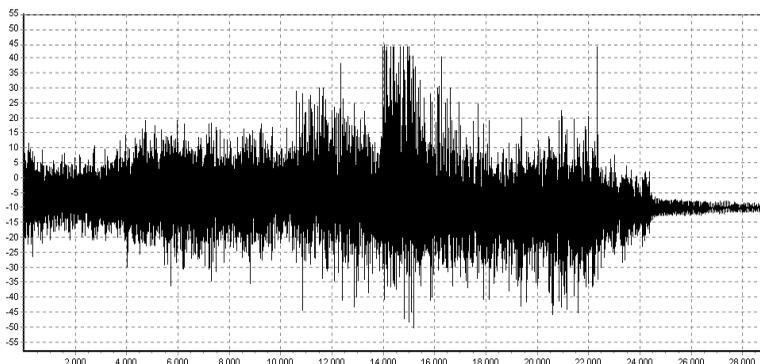


Рис. 8. Характер динамических напряжений (балка 3, точка 5, 29000 ед.  $\approx$  1с., интервал времени 13,5..14,5с)

Для оценки НДС при импульсном воздействии получены экспериментальные данные, приведенные на рис. 9-10.

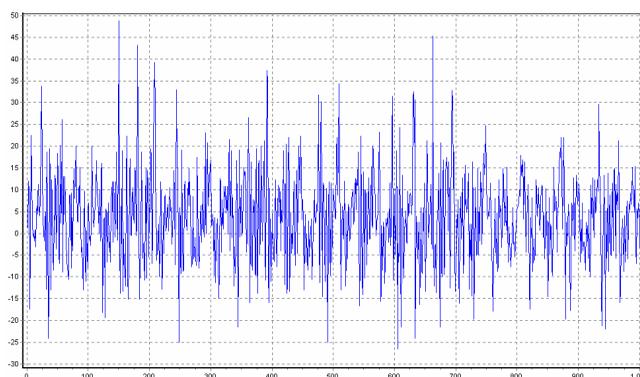


Рис. 9. Характер динамических напряжений (балка 1, точка 1, 29000 ед.  $\approx$  1с).

Напряжения, возникающие в различных балках от действия заданных импульсных сил, не превышают 50 МПа.

**Выводы.** Таким образом, в работе обозначена общая методика верификации параметров численных моделей выбивной машины по результатам

эксперимента. Сравнивая полученные результаты при экспериментальном и численном исследовании, можно сделать вывод, что максимальные значения амплитуд напряжений вдоль оси установки тензодатчиков отличаются незначительно. Такое расхождение результатов является вполне удовлетворительным для представленного класса машиностроительных конструкций.

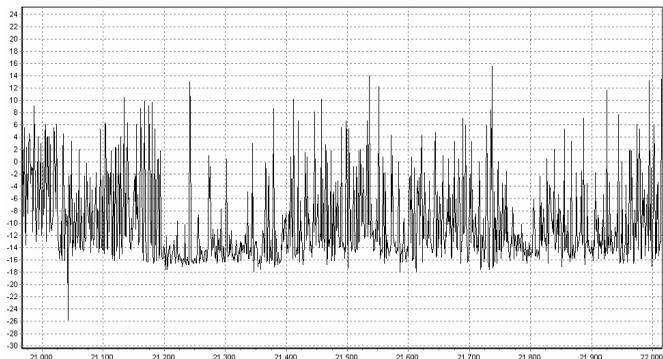


Рис. 10. Характер динамических напряжений (балка 12, точка 10)

Можно заключить, что в результате проведенных расчетно-экспериментальных исследований была спроектирована работоспособная и надежная металлоконструкция выбивной инерционной решетки с дебалансными вибровозбудителями.

**Список литературы:** 1. Барчан Е.Н. Особенности работы выбивного оборудования в составе автоматизированной формовочной линии крупного литья // Вестник НТУ „ХПИ”. Тем. вып.: „Машиноведение и САПР”. – 2005. – №53. – С.19-23. 2. Головченко В.И., Барчан Е.Н., Пеклич М.М., Ткачук А.Н. Расчетно-экспериментальное исследование напряженно-деформированного состояния пространственных крупногабаритных конструкций // Вестник НТУ „ХПИ”. Тем. вып.: „Машиноведение и САПР”. – 2006. – №3. – С.49-57. 3. Барчан Е.Н. О напряженном состоянии несущих конструкций выбивных транспортирующих решеток в составе комплексной автоматической формовочной линии // Вестник НТУ „ХПИ”. Тем. вып.: „Машиноведение и САПР”. – 2006. – №24. – С.16-20. 4. Барчан Е.Н. Методы, модели и алгоритмы для синтеза параметров выбивной инерционной машины на основе моделирования динамических процессов // Вестник НТУ „ХПИ”. Тем. вып.: „Машиноведение и САПР”. – 2007. – №3. – С.3-17. 5. Барчан Е.Н., Ткачук Н.А., Грабовский А.В. Экспериментальное исследование динамических процессов в выбивной машине с дебалансным приводом // Вестник НТУ „ХПИ”. Тем. вып.: „Машиноведение и САПР”. – 2007. – №3. – С.14-24. 6. Горский А.И. Расчет машин и механизмов автоматических линий литейного производства. – М.: Машиностроение, 1978. – 551 с. 7. Барчан Е.Н. Совершенствование конструкции выбивной машины в составе автоматизированной линии крупного вагонного литья на основе расчетно-экспериментальных исследований рабочего процесса. // Вестник НТУ „ХПИ”. Тем. вып.: „Машиноведение и САПР” – 2007. – №23. – С.3-26. 8. Барчан Е.Н., Шкода В.А., Просянок В.В., Грабовский А.В. Экспериментальное исследование динамических процессов в оптимизированной выбивной машине. // Вестник НТУ „ХПИ”. Тем. вып.: „Машиноведение и САПР” – 2007. – №23. – С.26-33. 9. Барчан Е.Н., Ткачук Н.А., Грабовский А.В. К вопросу об исследовании прочностных характеристик корпуса выбивной машины и динамических процессов при выбивке отливков. // Вестник НТУ „ХПИ”. Тем. вып.: „Машиноведение и САПР” – 2007. – №29. – С.8-16.

Поступила в редакцию 31.01.08