

УДК 621.771: 514.18

Явтушенко А. В.
Проценко В. М.**РАСЧЕТ ВАЛКОВ ПРОКАТНЫХ СТАНОВ НА ПРОЧНОСТЬ И ДЕФОРМАЦИЮ
В СРЕДЕ AUTOCAD MECHANICAL**

При изучении дисциплины «Оборудование цехов ОМД» одной из основных целей является овладение способностью выполнять математические модели сборочных единиц оборудования с проведением необходимых расчетов и разработкой технической документации, применяя при этом современные компьютерные технологии. Это позволяет всесторонне изучать поведение частей оборудования еще в процессе их разработки, анализировать геометрию, проводить инженерные расчеты, получать фотореалистичные изображения.

Вопросу автоматизации компьютерного моделирования посвящено большое количество работ [1–4], рассматриваются возможности автоматизации графического моделирования в КОМПАС-3D, AutoCAD Mechanical, Autodesk Inventor, ABAQUS и др., которые предоставляют инструменты проектирования на основе правил и средств автоматизации, ускоряющие процесс и позволяющие пользователям сконцентрироваться на реализации проектного замысла, а не на моделировании геометрии вручную. На базе функциональных требований к изделию системы САПР автоматически создают интеллектуальные компоненты, давая возможность экономить время проектировщика, позволяют осуществлять проверку моделей без испытания опытных образцов.

Приведенные в литературе данные в основном относятся к моделированию валов редукторов, рычагов, кулачков и др. деталей машин.

Целью работы является изучение возможности геометрического моделирования валков прокатных станов и выполнение расчетов на прочность и деформацию в среде AutoCAD Mechanical 2018 [5].

Прокатные валки – сменный рабочий и технологический инструмент прокатных станов, который в значительной мере определяет производительность станов, качество проката, стабильность технологии, энергоемкость и безаварийность процесса прокатки.

В клети кварто рабочие валки работают на кручение, а опорные валки разгружают их от силы прокатки, т. е. работают только на изгиб, имея в 2–3 раза больший диаметр бочек по сравнению с бочками рабочих валков [6].

При определении прочности валок рассматривают как двухопорную балку, нагруженную силой прокатки и крутящим моментом, что приводит к появлению в теле валка нормальных и касательных напряжений. Расчетный коэффициент запаса прочности n должен превышать допустимое значение [n]:

$$n = \frac{\sigma_B}{\sigma} \geq n \quad \text{или} \quad n = \frac{\tau_B}{\tau} \geq n, \quad (1)$$

где σ_B и τ_B – предел прочности материала валка по нормальным и касательным напряжениям в расчетах принимают $\tau_B = 0,7 \cdot \sigma_B$, МПа;

σ и τ – расчетные нормальные и касательные напряжения, соответственно, МПа.

Допустимое значение коэффициента запаса прочности для всех деталей клети, кроме станины, принимают равным 5, а для станины, как наиболее ответственного элемента прокатного стана – 10 [6].

Создадим расчетную модель и выполним расчет на прочность и деформацию рабочих и опорных валков четырехвалковой клети стана 550/1500 × 2500 для холодной прокатки полос, используя такие же исходные данные, как в примере 17 [6, стр. 108].

Расчетная схема валков клетки кварто с указанием размеров и нагрузок приведена на рис. 1. Поскольку нагрузки на рабочий и опорный валок различны, то расчеты проводим отдельно для рабочего и опорного валка.

На первом этапе решения задачи по схеме на рис. 1 (или по компоновочному чертежу) выполняется 2D модель валка при помощи генератора валов AutoCAD Mechanical.

На втором этапе с помощью диалогового окна "Расчет вала" производится расчет. Исходными данными для расчета валка являются: крутящий момент на рабочем валке; силы, действующие на рабочий и опорный валки в вертикальной и горизонтальной плоскости.

Генератор валов автоматически вычисляет реакции опор и строит эпюры изгибающих моментов и напряжений. Расчет на прочность выполняется в соответствии с немецким стандартом DIN 743. В качестве материала рабочих и опорных валков выбраны легированные стали, соответственно 9X2 и 9XF, имеющие предел текучести $\sigma_T = 600$ МПа и предел прочности $\sigma_B = 800$ МПа.

Результаты расчетов рабочего и опорного валков представлены соответственно на рис. 2 и 3. По полученным эпюрам определяются опасные сечения валка – посередине бочки и в шейке валка по галтели (в месте соединения шейки и бочки валка). При необходимости уточняется геометрия валка. При этом генератор валов автоматически пересчитывает все данные. На заключительном этапе выполняется рабочий чертеж валка.

Сравнивая расчетные данные, приведенные в литературе с вычисленными значениями в AutoCAD Mechanical, можно убедиться, что они имеют близкие значения. Так коэффициент запаса статической прочности по пределу текучести для опорного валка (крутящий момент отсутствует) равен 5,3 (рис. 3), а в литературе [6] – 5,2 в сечении 1–1. В шейке рабочего валка определен только запас прочности при кручении $n_\tau = 6,8$ [6]; по нашим данным коэффициент запаса прочности с учетом кручения и изгиба равен $n_{ш}^p = 4,4$ (рис. 2), что также достаточно [6, стр. 109]. При совместном действии кручения и изгиба суммарное (эквивалентное) напряжение в шейке для стальных валков определяется по формуле (данные взяты на рис. 2):

$$\sigma_{\text{экв.ш}}^p = \sqrt{\sigma_{\text{из.ш}}^2 + 3 \cdot \tau_{\text{кр.ш}}^2} = \sqrt{21,2^2 + 3 \cdot 78,4^2} = 137,4 \text{ МПа.}$$

$$n_{ш}^p = \frac{\sigma_T}{\sigma_{\text{экв.ш}}^p} = \frac{600}{137,4} = 4,4.$$

Определим расчетные коэффициенты запаса прочности по пределу прочности, используя формулу (1) и расчетные данные на рис. 2 и 3:

$$\text{в бочке опорного валка } n_6^{\text{оп}} = \frac{\sigma_B}{\sigma_{\text{из.б}}^{\text{оп}}} = \frac{800}{78,3} = 10,2;$$

$$\text{в шейке опорного валка } n_{ш}^{\text{оп}} = \frac{\sigma_B}{\sigma_{\text{из.ш}}^{\text{оп}}} = \frac{800}{121,5} = 6,6;$$

$$\text{в шейке рабочего валка } n_{ш}^p = \frac{\tau_B}{\tau_{\text{кр.ш}}^p} = \frac{800 \cdot 0,7}{78,4} = 7,1.$$

Кроме того, AutoCAD Mechanical выполняет расчет на выносливость (усталостную или циклическую прочность) в любом сечении валка. Для рабочего и опорного валков коэффициент запаса усталостной прочности в шейке валка по галтели (в месте соединения шейки и бочки валка) соответственно равен 3,2 и 2,1 (рис. 2 и 3). Минимально допустимое значение этого коэффициента 1,3–2,5 [7].

Таким образом, все полученные коэффициенты запаса прочности выше допустимого $[n] = 5$, т. е. все элементы валков имеют достаточную прочность, а наиболее слабыми элементами валков является шейка в месте соединения с бочкой валка. Это сечение является концентратором напряжений.

Прогиб валков влияет на неравномерность толщины прокатываемой полосы по ширине и на жесткость прокатной клетки. Прогиб опорного валка, определенный AutoCAD Mechanical (рис. 3, 4), составил посередине бочки 0,81 мм, вычисленный в литературе – 0,86 мм [6], что достаточно близко.

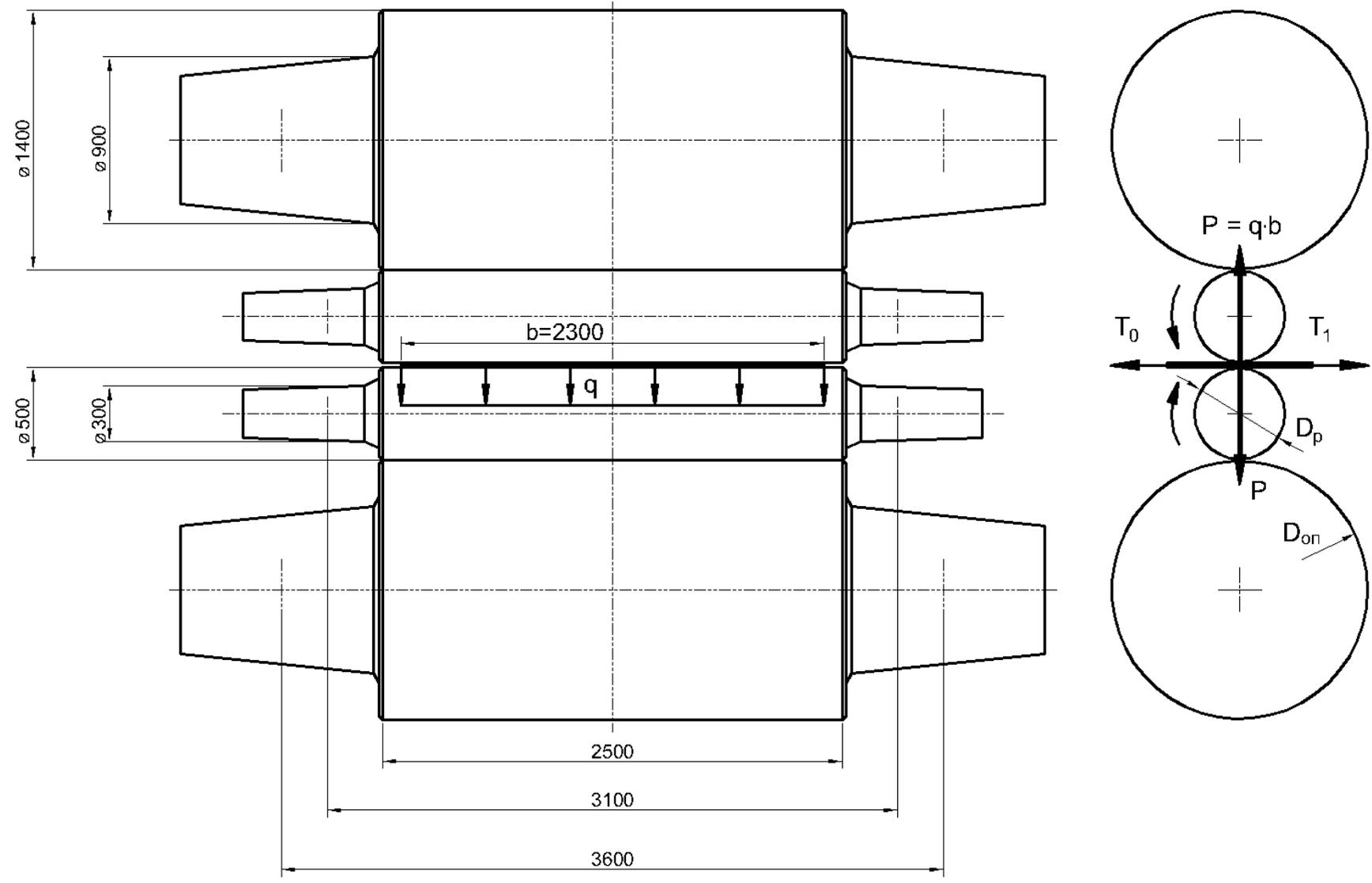


Рис. 1. Схема к расчету четырехвалковой клетки кварто на прочность и деформацию

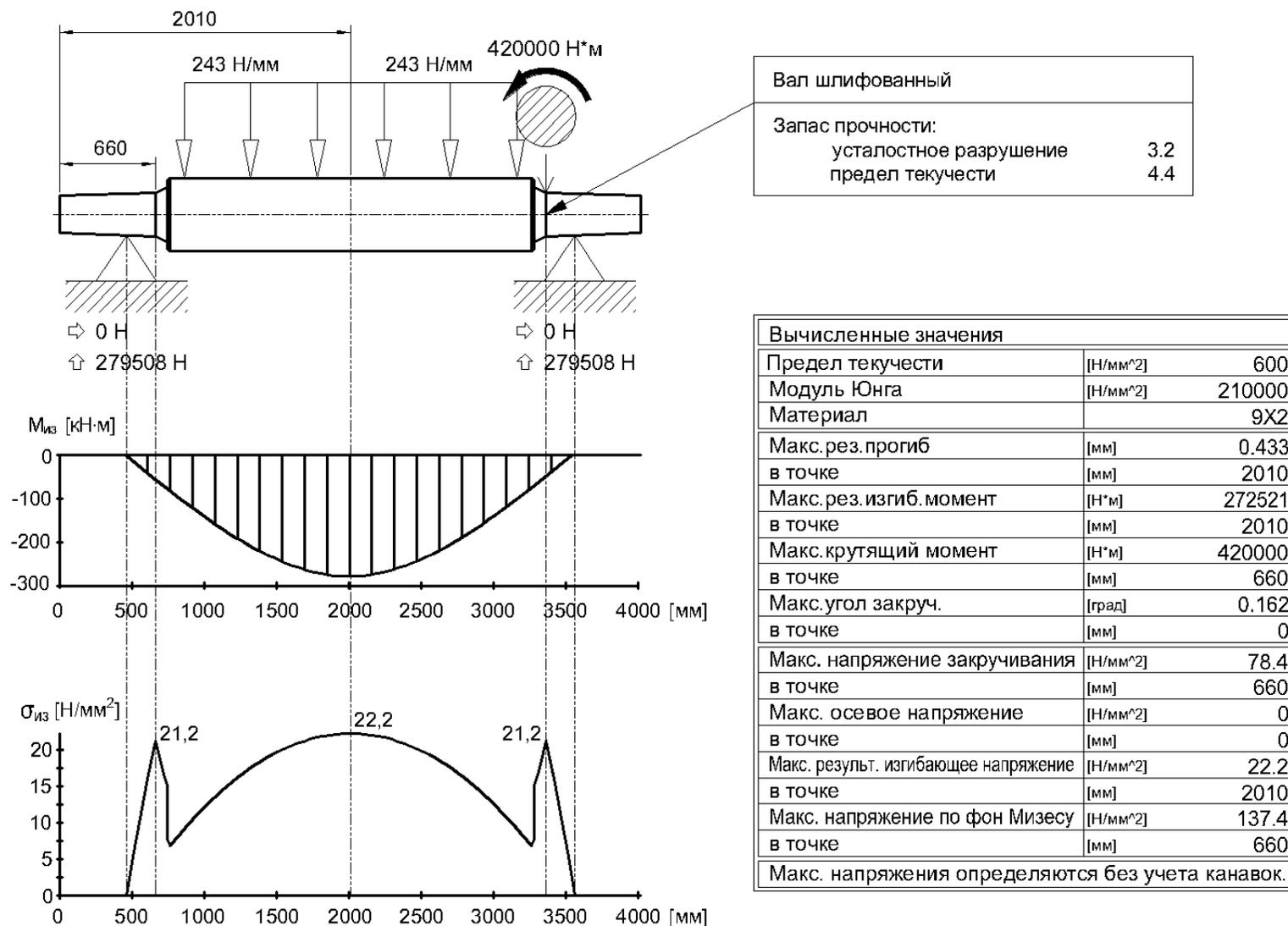


Рис. 2. Результаты расчета рабочего вала на прочность и деформацию

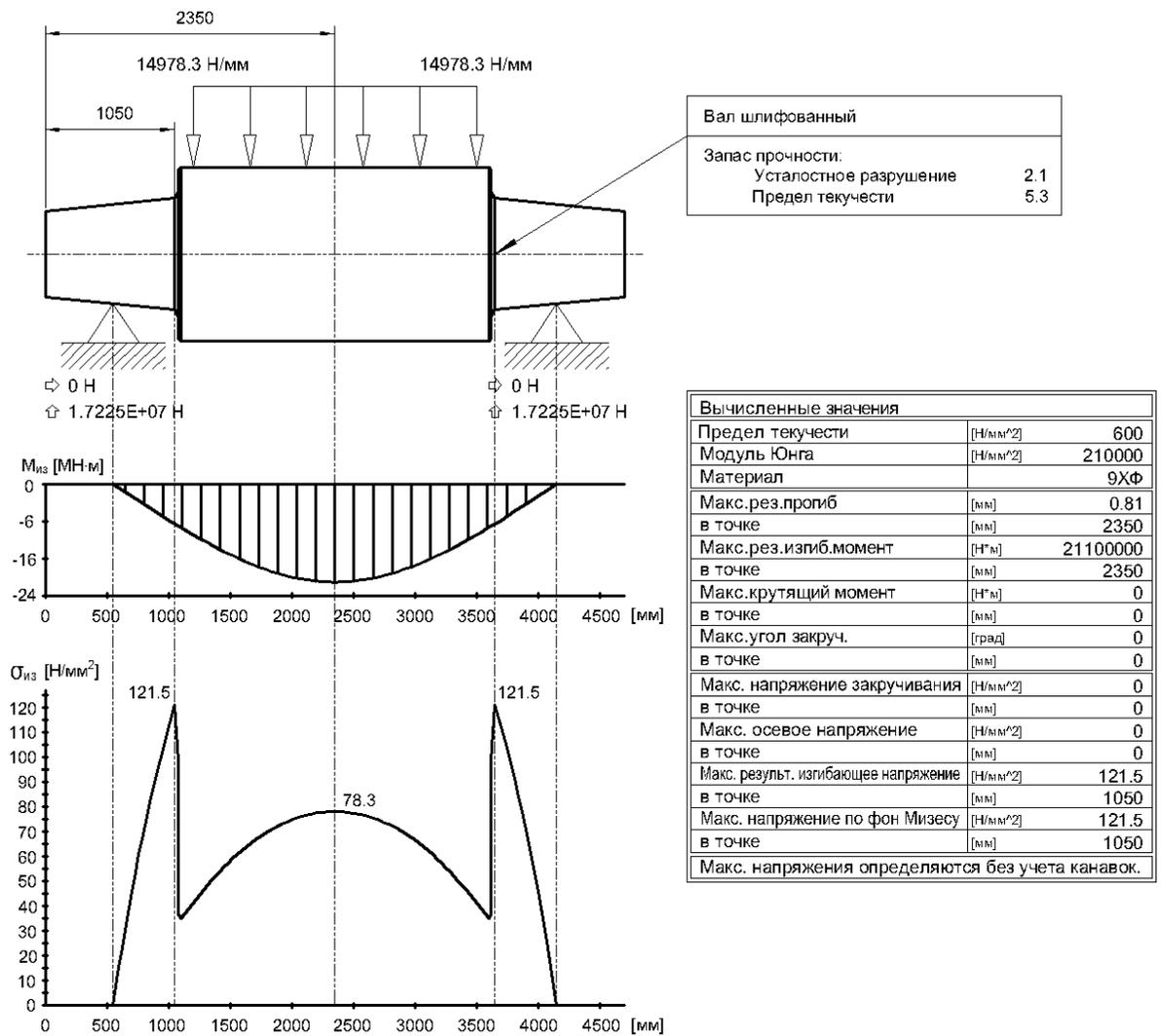


Рис. 3. Результаты расчета опорного вала на прочность и деформацию

AutoCAD Mechanical позволяет выполнять также оценку напряженно-деформированного состояния металла методом конечных элементов (МКЭ). Эти результаты могут быть использованы для усовершенствования конструкции прокатного вала. Цель метода – дать представление о распределении напряжений и деформаций. На рис. 4 представлены результаты расчета опорного вала МКЭ, которые показывают, что локализация напряжений происходит на поверхности вала, по галтели, в месте соединения шейки и бочки. Условно опоры вала показаны точечными, поэтому и напряжения в них максимальные. На практике валки установлены на подшипниках и нагрузка распределяется по всей ширине подшипникового узла, что можно учесть при расчетах в AutoCAD Mechanical.

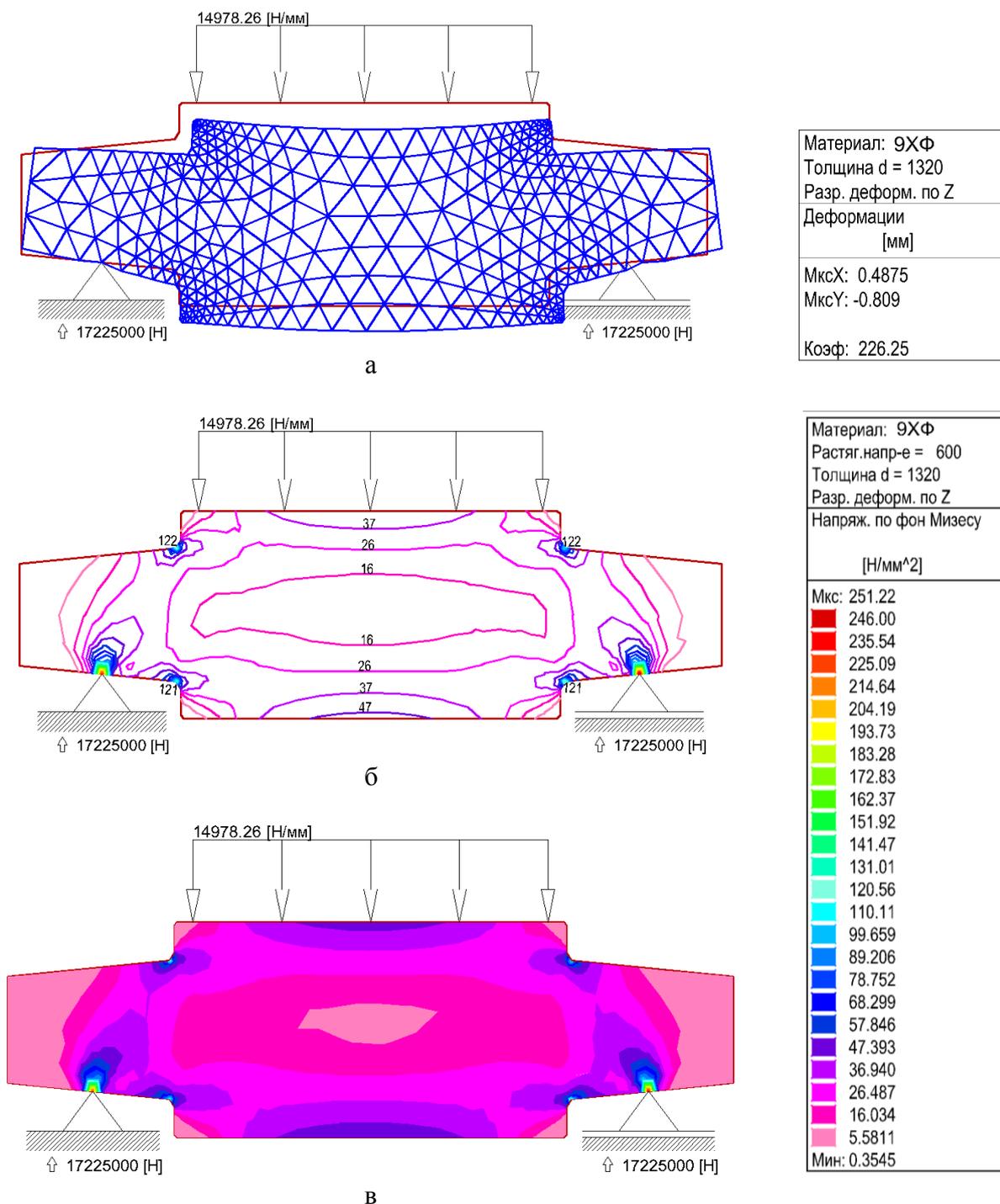


Рис. 4. Расчет методом конечных элементов опорного вала на деформацию (а); изолинии (б) и изообласти (в) напряжений в валке

ВЫВОДЫ

Использование генераторов компонентов и расчетных модулей AutoCAD Mechanical 2018 позволяет автоматизировать многие стандартные проектные задачи, выполнять расчеты в соответствии с международными стандартами DIN или ANSI и значительно сократить время выполнения расчетов на прочность и деформацию валков прокатных станков. Сравнение расчетных данных, полученных в AutoCAD Mechanical 2018, показывает их соответствие с литературными данными, полученными расчетным путем. Реализация алгоритма МКЭ позволяет учитывать в расчетах различные свойства материалов и разнообразные граничные условия для областей со сложной конфигурацией, наглядно представить результаты расчетов. Показано что программный комплекс AutoCAD Mechanical 2018 может быть использован при расчете валков рабочих клетей прокатных станков.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Использование специализированных программ при разработке технологических процессов обработки металлов давлением* / М. А. Цепин, В. В. Бегнарский, Н. Л. Лисунец, М. В. Сеницын, М. А. Ерохов // *Цветные металлы*. – 2007. – № 5. – С. 98–101.
2. *Большаков В. П. 3D-моделирование в AutoCAD, КОМПАС-3D, SolidWorks, Inventor, T-Flex : учебный курс* / В. П. Большаков, А. Л. Бочков, А. А. Сергеев. – СПб. : Питер, 2011. – 336 с.
3. *Грицына Н. И. Проектирование деталей машин с использованием генераторов компонентов и расчетных модулей Autodesk Inventor* / Н. И. Грицына // *Вестник ХНАДУ*. – 2015. – Вып. 69. – С. 13–18.
4. *Боровік П. В. Теоретичні дослідження процесів обробки металів тиском на основі методу скінчених елементів : навч. посіб.* / П. В. Боровік. – Алчевськ : ДонДТУ, 2012. – 170 с.
5. *Федорченков А. П. AutoCAD Mechanical. Практическое руководство* / А. П. Федорченков, А. М. Кимаев. – М. : «ТехБук», 2004. – 688 с.
6. *Королев А. А. Конструкция и расчет машин и механизмов прокатных станков* / А. А. Королев. – М. : *Металлургия*, 1985. – 376 с.
7. *Машины и агрегаты металлургических заводов. В 3-х томах. Т. 3. Машины и агрегаты для производства и отделки проката: учебник для ВУЗов* / А. И. Целиков, П. И. Полухин, В. М. Гребеник и др. – М. : *Металлургия*, 1988. – 680 с.

REFERENCES

1. *Ispol'zovanie specializirovannyh programm pri razrabotke tehnologicheskikh processov obrabotki metallov davleniem* / M. A. Cepin, V. V. Begnarskij, N. L. Lisunec, M. V. Sinicyn, M. A. Erohov // *Cvetnye metally*. – 2007. – № 5. – S. 98–101.
2. *Bol'shakov V. P. ZD-modelirovanie v AutoCAD, KOMPAS-3D, SolidWorks, Inventor, T-Flex : uchebnyj kurs* / V. P. Bol'shakov, A. L. Bochkov, A. A. Sergeev. – Spb. : Piter, 2011. – 336 s.
3. *Gricyna N. I. Proektirovanie detalej mashin s ispol'zovaniem generatorov komponentov i raschetnyh modulej Autodesk Inventor* / N. I. Gricyna // *Vestnik HNADU*. – 2015. – Vyp. 69. – S. 13–18.
4. *Borovik P. V. Teopetichni doslidzhennja procesiv obrobki metaliv tiskom na osnovi metodu skinchenih elementiv : navch. posib.* / P. V. Borovik. – Alchevs'k : DonDTU, 2012. – 170 s.
5. *Fedorchenkov A. P. AutoCAD Mechanical. Prakticheskoe rukovodstvo* / A. P. Fedorchenkov, A. M. Kimaev. – M. : «TehBuk», 2004. – 688 s.
6. *Korolev A. A. Konstrukcija i raschet mashin i mehanizmov prokatnyh stanov* / A. A. Korolev. – M. : *Metallurgija*, 1985. – 376 s.
7. *Mashiny i agregaty metallurgicheskikh zavodov. V 3-h tomah. T. 3. Mashiny i agregaty dlja proizvodstva I otdelki prokata: uchebnik dlja VUZov* / A. I. Celikov, P. I. Poluhin, V. M. Grebenik i dr. – M. : *Metallurgija*, 1988. – 680 s.

Явтушенко А. В. – д-р техн. наук, проф. ЗГИА;

Проценко В. М. – канд. техн. наук, доц. ЗГИА.

ЗГИА – Запорожская государственная инженерная академия, г. Запорожье.

E-mail: ayav2017@gmail.com; protsenkovm@yahoo.com