

**Engineering Sciences****Технические науки**

UDC 629.73.002.2

**Modelling of Bending Rolls of Extruded Nonsymmetric  
in the MSC MARC**<sup>1</sup> Sergei V. Belykh<sup>2</sup> Anatoly A. Perevalov<sup>1</sup> Komsomolsk-on-Amur State Technical University, Russia

Russia, Komsomolsk-on-Amur, 27 Lenin St.

PhD (Engineering), Associate Professor

E-mail: belykhsv@knastu.ru

<sup>2</sup> Komsomolsk-on-Amur State Technical University, Russia

PhD (Engineering)

E-mail: Anatoly84@rambler.ru

**Abstract.** This article describes the features of asymmetric bending profiles, related problems and prospects of solving this problem. We describe the usefulness of the system, application of finite element analysis of MSC MARC calculation of bending with twisting of asymmetric profiles.

**Keywords:** MSC MARC; bending; twisting; profile; asymmetric; rollers; modeling; pre-stressed state; the numerical analysis.

**Введение.** Детали, получаемые гибкой прессованных и гнутых из листа профилей, используются во многих отраслях промышленности, в том числе в авиа- и ракетостроении, судостроении, строительстве и т.д. Объясняется это тем, что при относительно небольших размерах поперечного сечения, а, следовательно, незначительной массе, профили обладают весьма высокой удельной сопротивляемостью к действию внешних нагрузок.

Одним из перспективных способов формообразования длинномерных профилей является гибка в роликах. Данный вид гибки обладает рядом преимуществ:

- широкие возможности по формоизменению длинномерных заготовок при относительно малых габаритах оборудования;
- возможность формоизменения широкой номенклатуры профилей без замены формообразующих элементов;
- высокая возможность автоматизации процесса.

В процессе гибки профилей, имеющих сечение, не симметричное относительно плоскости изгиба, наряду с пружинением после снятия внешней нагрузки будет иметь место закрутка (общий разворот сечения) вследствие изгиба в плоскости, перпендикулярной плоскости основного изгиба при несовпадении плоскости изгиба и главных осей инерции сечения (рис. 1). Данное явление значительно усложняет процесс автоматизированного изготовления деталей из профилей гибкой в роликах и приводит к необходимости введения ручной доводки.

Ершовым А.Г. в [1] представлено решение задачи о пластическом изгибе профилей несимметричных сечений. Для уменьшения или ликвидации искажающих деформаций закрутки профилей с сечением, не симметричным относительно оси изгиба и ей перпендикулярной, автором предлагаются следующие схемы изгиба таких профилей:

- нагружением профиля в заданной плоскости изгиба и ей перпендикулярной;
- с приложением осевой растягивающей нагрузки.

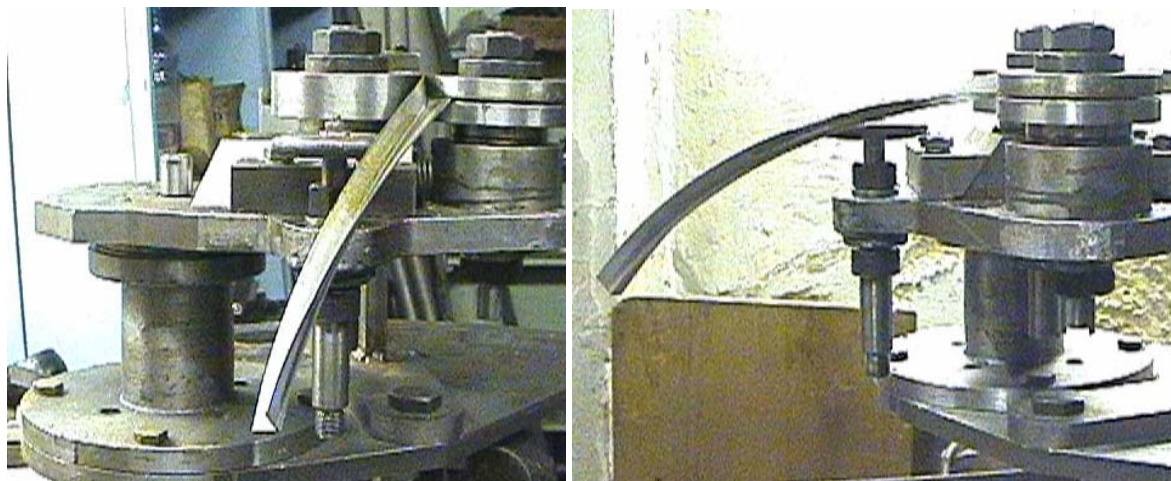


Рис. 1. Результат закручивания профиля не симметричного сечения в процессе изгиба

Одним из направлений развития технологических операций изготовления деталей из профилей несимметричного сечения без деформаций закрутки является совмещение изгиба с закручиванием. Такое совмещение Ершовым А.Г. [1] отмечено как малоизученное и перспективное.

Решение задачи определения угла закручивания и изгиба несимметричных профилей позволит разработать схему гибки с компенсацией нежелательных отклонений. С целью определения углов закручивания и силовых факторов гибки было проведено моделирование изгиба несимметричного профиля уголкового сечения в роликах в системе MSC MARC (рис. 2).

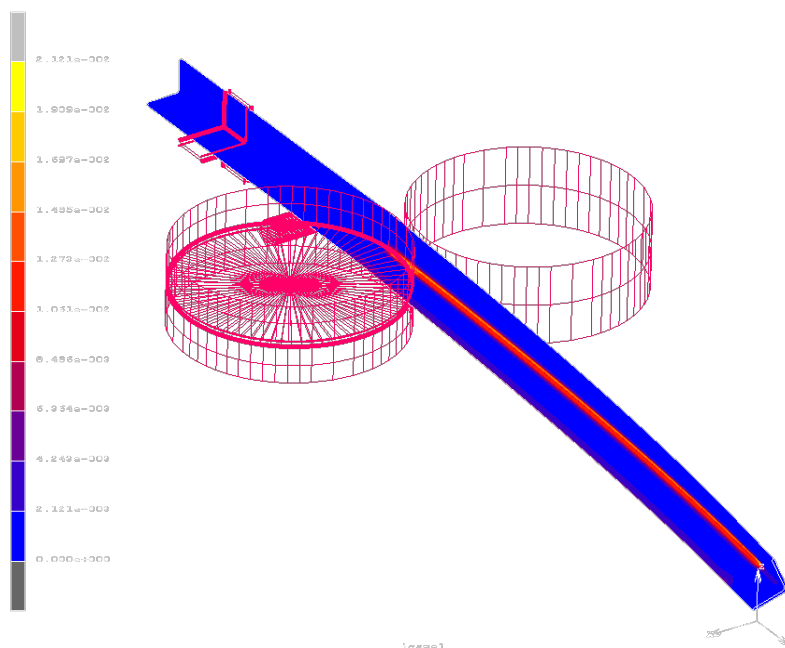


Рис. 2. Результат расчета модели гибки в MSC MARC

Моделирование рабочих элементов установки производилось непосредственно в системе MSC MARC. Схема изгиба и все геометрические соотношения взяты идентичными прототипу роликового профилегибочного станка с ЧПУ, имеющего возможность закручивания профильных заготовок в процессе изгиба [2]. Фильтра, и ролики выполнены поверхностями. Профиль разбит на конечные элементы (рис. 3). Данная схема разбиения профиля на элементы была принята с целью упрощения расчета. Суммарное количество элементов для профиля 15x15x450 составило 13960.

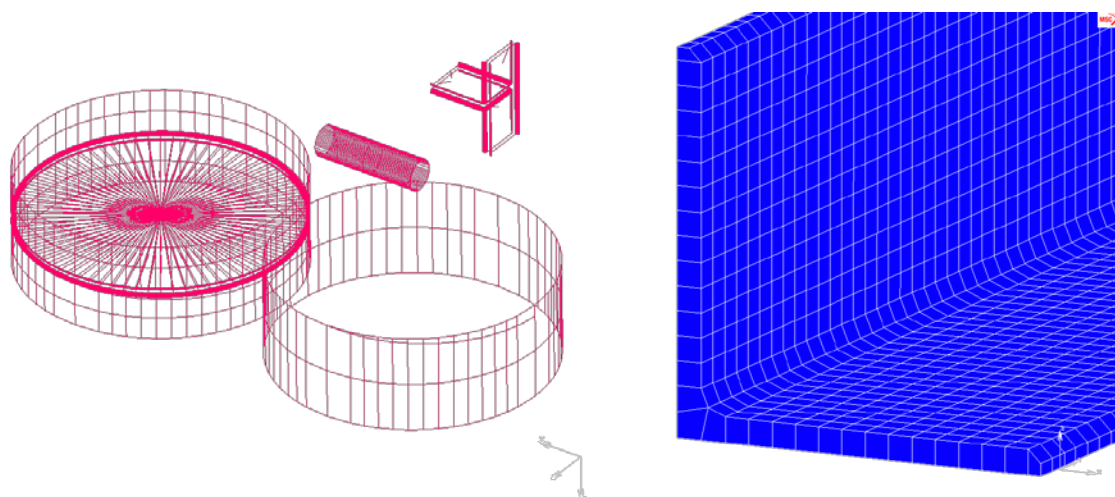
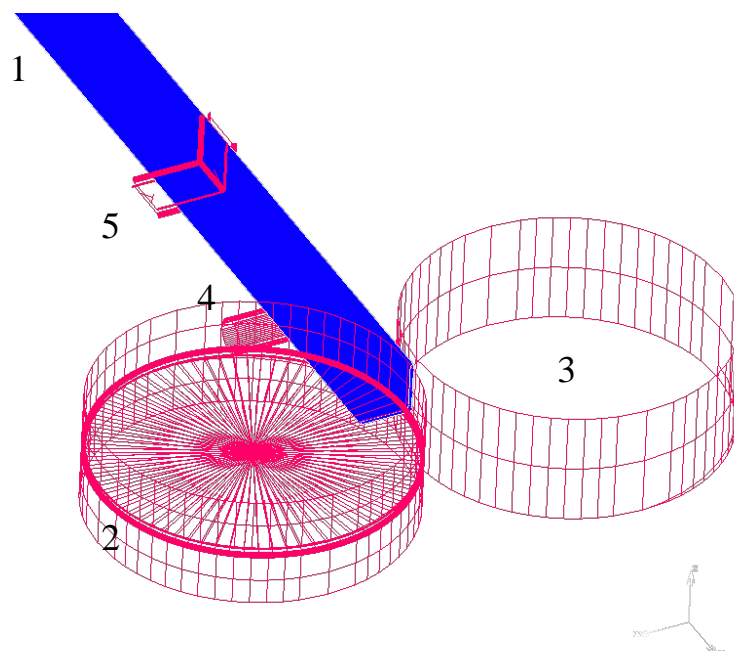


Рис. 3. Модель рабочих элементов установки и конечно-элементная модель профиля в системе MSC MARC

На рис. 4 представлена модель установки в начальном положении. Все элементы модели за исключением профиля недеформируемые. Коэффициент трения принят равным нулю.

При задании механических свойств материала заготовок Д-16АТ использовалась линейно-степенная зависимость  $\sigma$ - $\epsilon$  [3, 4], заданная графически по точкам (рис. 5). Необходимо обратить внимание на особенность задания материала в системе MSC MARC - при задании материала линейный участок не задается. Первая точка графика обозначает момент перехода линейной зависимости к нелинейной. Задание всех перемещений производится так же графически. При этом сначала происходит выборка зазоров, а потом переход в рабочий режим.



1 – профиль уголкового сечения 15x15x450, 2 – ролик разрезной, 3 – ролик прижимной, 4 – поддерживающий вал, 5 – фильера.

Рис. 4. Модель установки для гибки профилей

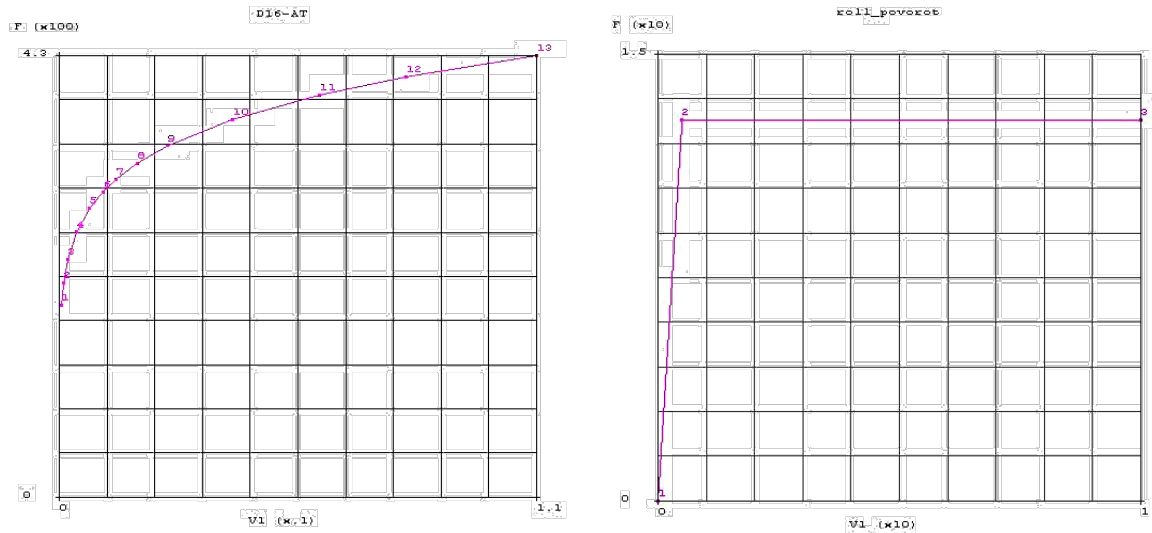
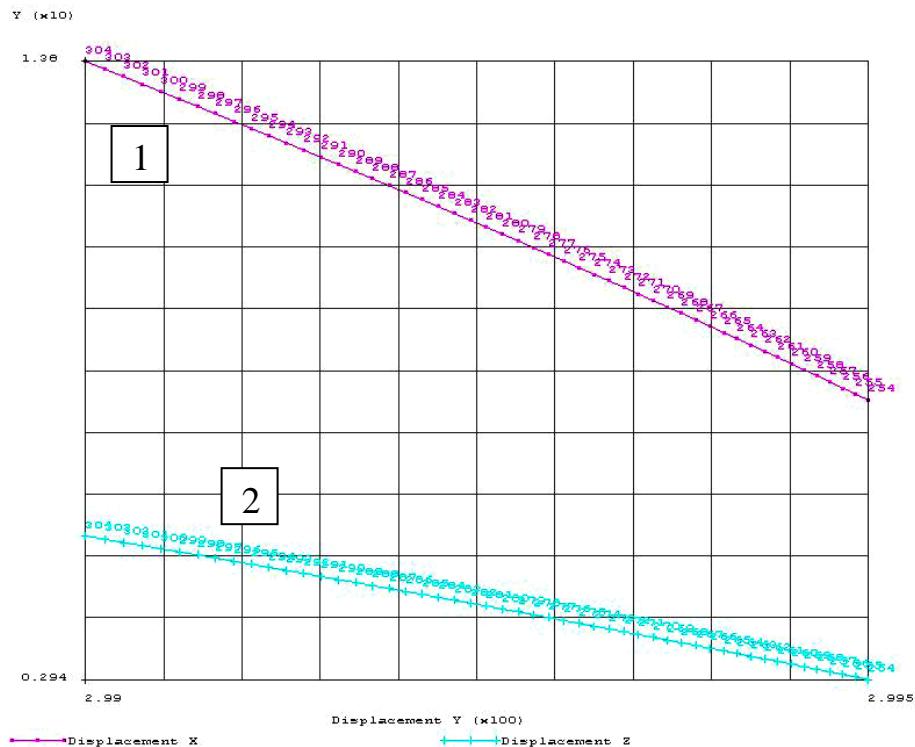


Рис. 5. Графическое задание свойств материала и перемещений в MSC MARC

Моделирование процесса изгиба несимметричных прессованных профилей позволяет определить технологические параметры процесса, такие как предельные углы закручивания и изгиба профиля. Дальнейшая обработка результатов с целью получения радиусов кривизны и углов закручивания производится в системе MS Excel.



1 – YOX, 2 – YOZ

Рис. 6. Графики перемещений узлов в плоскостях

Определение радиусов кривизны контура во всех расчетных точках можно решить, заменяя радиусы кривизны расчетного контура радиусами окружностей, проходящих через каждые три точки этого контура [5].

Математическая модель этой операции реализуется простыми зависимостями, получаемыми на основе решения системы уравнений окружности, проходящей через три точки:

$$\begin{cases} (Xc - x_i)^2 + (Yc - y_i)^2 = (Xc - x_{i-1})^2 + (Yc - y_{i-1})^2, \\ (Xc - x_i)^2 + (Yc - y_i)^2 = (Xc - x_{i+1})^2 + (Yc - y_{i+1})^2. \end{cases}$$

Для трех последовательных точек контура  $i-1, i, i+1$  эта система имеет единственное решение [6] в виде:

$$Xc = \frac{(x_{i-1} - x_i)(y_i^2 - y_{i+1}^2 + x_i^2 - x_{i+1}^2) + (x_i - x_{i+1})(x_i^2 - x_{i-1}^2 + y_i^2 - y_{i-1}^2)}{2[(x_i - x_{i+1})(y_{i-1} - y_i) - (x_{i-1} - x_i)(y_i - y_{i+1})]},$$

$$Yc = \frac{x_i^2 - x_{i-1}^2 + y_i^2 - y_{i-1}^2 - 2Xc(y_{i-1} - y_i)}{2(x_{i-1} - x_i)},$$

$$R = \sqrt{(Xc + x_i)^2 + (Yc + y_i)^2},$$

где  $x_i, y_i$  – координаты точек кривой,  $R$  – расчетный радиус кривизны в точках.

При превышении максимально допустимых углов закручивания и изгиба наблюдается потеря устойчивости модели профиля при расчете в MSC MARS аналогично потери устойчивости профиля при натурном эксперименте (рис. 7).

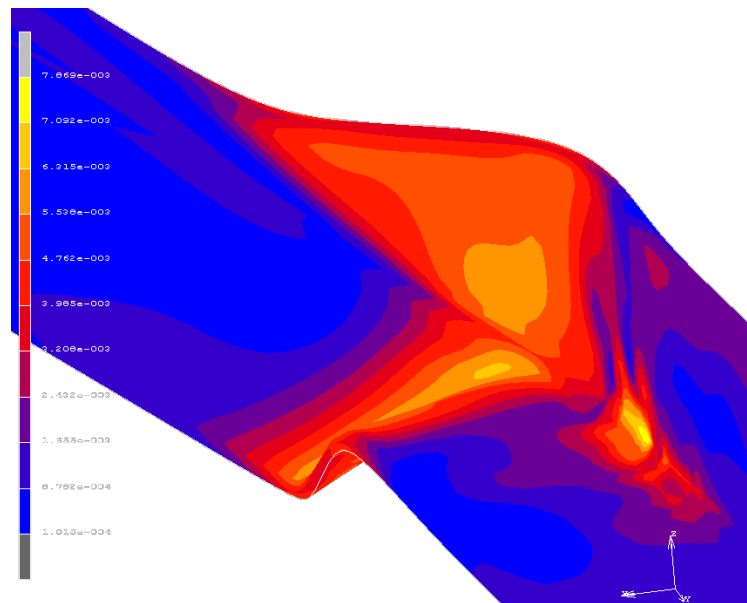


Рис. 7. Потеря устойчивости профиля

Моделирование показало возможность совмещения операций гибки и закручивания с целью повышения точности готовых деталей. Однако необходимо учесть следующее:

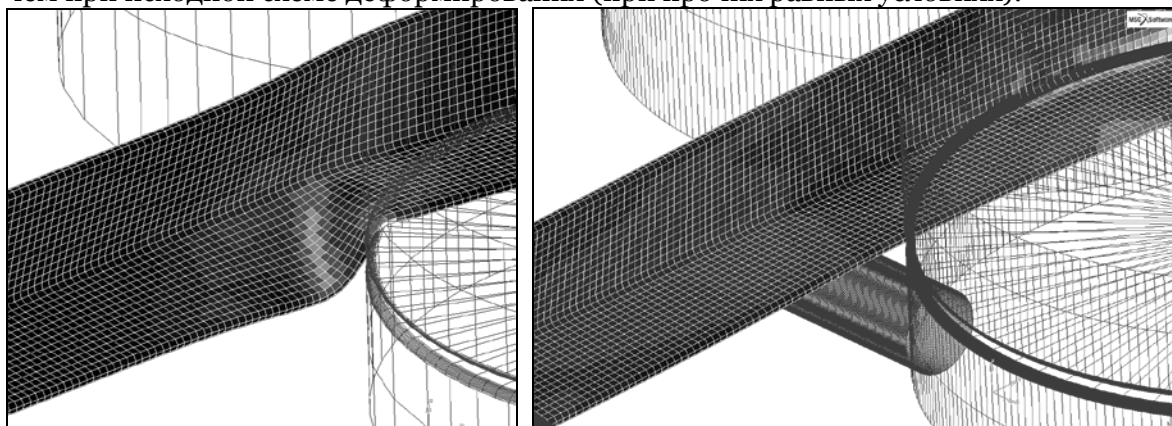
- при изгибе профиля с закручиванием наблюдается перегиб полки профиля через край ролика, радиус скругления которого, в целях сохранения универсальности оснастки и устранения нежелательной подмалковки, не может превышать радиус сопряжения полки профиля (в большинстве случаев не более 5 мм) что может привести к превышению допустимых деформаций на полке профиля;

- при перегибе профиля через край ролика увеличиваются силы трения, как в месте перегиба, так и в зазоре между роликами, что приводит к резкому увеличению потребного усилия проталкивания и в связи с этим к потере устойчивости профиля;

- при движении профиля через скругление ролика движение линии контакта ролика происходит под углом к направлению подачи, что может привести к повреждению поверхности профиля.

С целью снижения напряжения в точке касания профиля и уменьшения усилия проталкивания в конструкцию необходимо вводить дополнительные поддерживающие валы между подающими и гибочными роликами. По результатам изгиба с закручиванием в среде MSC MARS-MENTAT (рис. 8) при применении дополнительного поддерживающего вала

явление потери устойчивости профиля происходило при угле закручивания большем на 10-20° чем при исходной схеме деформирования (при прочих равных условиях).



а) без поддерживающего ролика;

б) с поддерживающим роликом

Рис. 8. Иллюстрация конечно-элементной модели нагружения профиля в MSC MARC (деформация при изгибе профиля с закручиванием)

**Заключение.** Анализ результатов расчета процесса гибки профиля, позволил определить оптимальные геометрические параметры положения рабочих органов установки, максимальные допустимые углы изгиба и закручивания профилей. Так же в результате моделирования получены данные об оптимальных углах изгиба и закрутки профиля для минимизации конечного закручивания профиля. Все это позволяет провести натурные эксперименты с ограниченным набором установочных параметров установки тем самым добиться экономии как временных, так и материальных затрат.

#### Примечания:

1. Ершов А.Г. Теоретические и экспериментальные исследования процесса изгиба профилей несимметричных сечений. Тр. ин-та / А. Г. Ершов ; Науч.-исслед. ин-т авиац. технологии и орг. пр-ва, М. НИАТ, 1991. 58с.

2. Пат. 2219009 Российская Федерация, МПК<sup>7</sup> В21 D7/06 Устройство для изготовления длиномерных профильных деталей малой кривизны / Шенрок. Ю.А., Ермаков М.А., Сиволодский А.В., Подвигин Б.С.; заявитель и патентообладатель НИАТ г. Иркутск, ОАО "КнААПО" – № 2001124546; за-явл. 04.09.2001; опубл. 20.12.2003. 3 с. : ил.

3. Феоктистов С.И. Автоматизация проектирования технологических процессов и оснастки заготовительно-штамповочного производства авиационной промышленности. / С.И. Феоктистов. Владивосток: Дальнаука, 2001. 183 с.

4. Вдовин С.И. Методы расчета и проектирования на ЭВМ процессов штамповки листовых и профильных заготовок / С.И. Вдовин. М.: Машиностроение, 1988. 160 с.

5. Белых С.В. Аппроксимация геометрии контура дугами при контроле точности изготовления деталей летательных аппаратов / А.В. Станкевич, С.И. Феоктистов, С.В. Белых, А.А. Кривенко, А.А. Перевалов // Ученые записки. Комсомольск-на-Амуре: КнАГТУ, 2010. С. 9-15.

6. Выгодский М.Я., Справочник по высшей математике / М.Я. Выгодский. М.: Наука, 1965. 872 с.

УДК 629.73.002.2

### Моделирование процесса изгиба в роликах несимметричных прессованных профилей в системе MSC MARC

<sup>1</sup> Сергей Викторович Белых

<sup>2</sup> Анатолий Анатольевич Перевалов

<sup>1</sup> Комсомольский-на-Амуре государственный технический университет, Россия  
681013, Россия, г. Комсомольск-на-Амуре, пр. Ленина, 27.

кандидат технических наук, доцент

E-mail: belykhsv@knastu.ru

<sup>2</sup> Комсомольский-на-Амуре государственный технический университет, Россия  
681013, Россия, г. Комсомольск-на-Амуре, пр. Ленина, 27.

кандидат технических наук, старший преподаватель

E-mail: Anatoly84@rambler.ru

**Аннотация.** В статье описаны особенности изгиба несимметричных профилей, связанные с ним проблемы и перспективность решения данной задачи. Описана целесообразность применения системы конечно-элементного анализа MSC MARC при расчете изгиба с закручиванием несимметричных профилей.

**Ключевые слова:** MSC MARC; гибка; закручивание; профиль; несимметричный; ролик; моделирование; напряженно-деформированное состояние; численный анализ.