

УДК 669.02.09

© Артюх В.Г.\*

**К ВОПРОСУ ПОВЫШЕНИЯ «КАЧЕСТВА» ЛИСТОПРОКАТНЫХ СТАНОВ**

*В статье поставлены и достигнуты следующие основные цели: подтвердить особенности процесса генерирования нагрузок в упругой системе машины в зависимости как от уровня внешнего воздействия, так и от упругих характеристик самой машины; выделить для машин листопрокатных станов спектр нагрузок – как полезных, так и вредных, которые действуют совместно на машину и определяют ее прочность и долговечность; разработать методы снижения и ограничения генерируемых в машинах нагрузок.*

**Ключевые слова:** нагрузка, машина, вал, энергоаккумулятор, прочность.

*Артюх В.Г. До питання підвищення «якості» листопрокатних станів. У статті поставлено й досягнуто такі основні цілі: підтвердити особливості процесу генерування навантажень у пружній системі машини залежно як від рівня зовнішнього впливу, так і від пружних характеристик самої машини; виділити для машин листопрокатних станів спектр навантажень – як корисних, так і шкідливих, що діють сукупно на машину і визначають її міцність та довговічність; розробити методи зниження та обмеження генерованих у машинах навантажень.*

**Ключові слова:** навантаження, машина, вал, енергоаккумулятор, міцність.

*V.G. Artiukh. On the question of increase of the «quality» of sheet rolling mills. The following main objectives were put and realize in the article: to confirm the peculiarities of the process of loads generating inside the machine's elastic system with regard to both the level of external action and own elastic characteristics of the machine; determine the load's spectrum for iron and steel machines of sheet rolling mills, including useful and harmful loads, acting jointly and determining its strength and durability and also to work out the methods of reducing and limiting the loads, generated in iron and steel machines. In his previous publications the author mentioned many times that iron and steel machines possessed low «quality» (i.e. technological load in relation to general load), so for these machines the share of useful loads could evaluate but a small portion of the general load. For the field lines of these machines the «quality» can vary within  $0 \leq K \leq 1.0$ . At  $K = 0$  the entire load remains parasitic. At  $K = 1.0$  the entire load is useful (technological). For rolling mills their «quality» for the entire operating time in the bulk of field lines is quite high and stable. The exception is the time of transition process (metal gripping with rolls, acceleration, slowing down etc.). For sheet and plates rolling mills the «quality» value at gripping is  $0.2 \leq K \leq 0.5$ , the time of gripping being tenth fractions of a second. The «quality» can be raised by changing working characteristics of the corresponding field lines. The most promising variant of alternating the working characteristics is developing and implementing of special active appliances. The essence of the method of reduction of the rate at metal gripping, proposed by the author is in mounting of an elastic energy accumulator in the drive of the roughing stand of 1,700 wide-strip rolling mill of «Ilyich iron and steel works» PSC, which can be rotated by  $120...180^\circ$  at nominal loads of the drive. It allows to reduce by two times the gripping rate and accelerate), the number of mill's engine revolutions, remaining the same. In this case the energy accumulating shaft, equipped with an elastic element, made of up-to-date polyurethane elastomers is an active part. i.e. the part, that has a sufficient influence upon the value of generated loads. In the given example the quality was raised from 0.25 to 0.4.*

**Keywords:** load, machine, shaft, energy accumulator, durability.

\* д-р техн. наук, ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь, [artiukh@mail.ru](mailto:artiukh@mail.ru)

**Постановка проблеми.** Металлургические машины имеют низкое «качество» (отношение технологической нагрузки к общей), т.е. для этих машин доля полезной нагрузки может составлять малую часть от общей нагрузки. Для силовых линий машин «качество» может изменяться в пределах  $0 \leq K \leq 1,0$ . При  $K = 0$  вся нагрузка является паразитной. При  $K = 1,0$  вся нагрузка является полезной (технологической). Понятие «качество» имеет свои особенности – оно нестабильно во времени и в пространстве. Так, для прокатных станов за все время прокатки «качество» в большинстве силовых линий достаточно высокое и стабильное. Исключение составляет время переходного процесса (захват металла валками, разгон, торможение и т.д.). Для листовых прокатных станов «качество» при захвате составляет  $0,2 \leq K \leq 0,5$ , причем время захвата – это десятые доли секунды. Указанные значения «качества» соответствуют не всей машине (прокатному стану), а одной из ее силовых линий, а именно – главной линии прокатного стана. Такое положение характерно для всех листовых станов. В главных линиях этих машин нагрузки, хотя и кратковременные, в 3...5 раз превышают полезные технологические нагрузки. Энергетические затраты таких станов (вследствие упомянутой кратковременности переходных процессов) не вызывают проблем, но все аспекты прочности деталей главных линий имеют место и требуют радикального решения.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Понятие «качество» для силовой линии машины введено в работе [1]. В монографии [2] проанализированы нагрузки, которым подвергаются детали металлургических машин, и причины возникающих в них перегрузок. В статье [3] выявлена роль горизонтальных сил при возникновении колебательных процессов в главной линии прокатного стана. В фундаментальных работах [4, 5] выполнены исследования динамики, прочности и надежности металлургических машин, а также предложены новые технические решения в металлургическом оборудовании, связанные с его амортизацией.

**Цели статьи.** Подтвердить особенности процесса генерирования нагрузок в упругой системе машины в зависимости как от уровня внешнего воздействия, так и от упругих характеристик самой машины; выделить для машин листопркатных станов спектр нагрузок – как полезных, так и вредных, которые действуют совместно на машину и определяют ее прочность и долговечность; разработать методы снижения и ограничения генерируемых в машинах нагрузок.

**Изложение основного материала.** Такие сложные машины, как прокатные станы, имеют много механизмов с индивидуальными приводами, и, следовательно, много силовых линий, для каждой из которых может быть определено свое «качество». Так, для силовой линии прокатной клетки, включающей рабочие и опорные валки, нажимной механизм, и нагруженной силой прокатки, «качество» близко к единице, что также подтверждается многочисленными осциллограммами сил прокатки, записанными для клеток непрерывных широкополосных станов (НШС) [2, 3]. Такое «качество» не требует улучшения, а снижение нагрузок будет означать нарушение технологии прокатки.

На этом же стане можно выделить еще одну силовую линию – в направлении прокатки. Эта силовая линия включает в себя рабочие валки, опорные валки (через силу трения), подушки, станины и их крепления. В этом направлении полностью отсутствуют полезные технологические нагрузки, следовательно, «качество» этой силовой линии равно нулю. Все нагрузки в этой силовой линии должны быть ликвидированы (в крайнем случае – снижены до безопасного уровня).

Еще одна особенность сложных упругих систем, к которым относятся и прокатные станы – это не только наличие нескольких различных силовых линий, но и их влияние друг на друга вследствие взаимодействия сил. Так, рассматриваемая выше главная линия стана нагружается крутящими моментами, которые создаются как технологическими силами вертикального направления ( $K = 1,0$ ), так и паразитными силами горизонтального направления ( $K = 0$ ). Отсюда промежуточное значение «качества» для главной линии в момент действия всех сил, включая паразитные силы горизонтального направления.

Наилучший вариант исправления ситуации – это изменение рабочей характеристики силовой линии низкого «качества». В рассматриваемых примерах паразитной силой являлась сила горизонтального направления, возникающая при изменении скорости прокатки (в том числе, и при захвате). Снижение скорости захвата (и, соответственно, ускорения) приведет к уменьшению паразитной силы [4].

Подтверждение этому можно найти на рис. 1, где приводятся осциллограммы момента прокатки, силы прокатки и скорости прокатки. На рис. 1а приведены осциллограммы силы прокатки в двух пропусках чистой клетки толстолистого стана (ТЛС) 3000 ПАО «ММК им. Ильича». На этих осциллограммах не видно влияния захватов и других причин изменения скоростей прокатки. Эти осциллограммы фиксируют технологическую нагрузку в силовой линии, для которой  $K = 1,0$ .

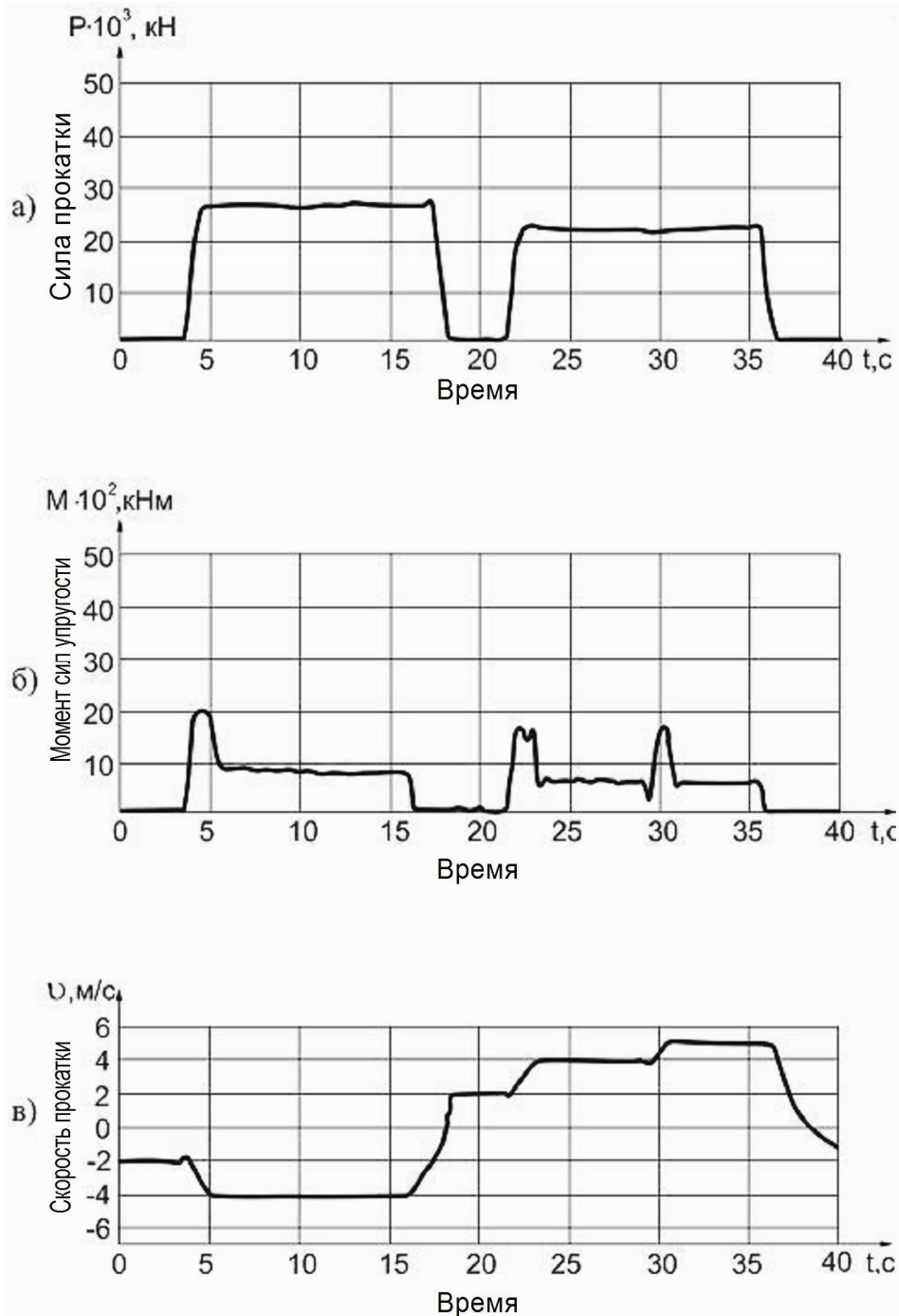


Рис. 1 – Силовые параметры прокатки в чистой рабочей клетке ТЛС-3000: а) сила прокатки в двух соседних пропусках; б) момент сил упругости в двух соседних пропусках; в) скорости прокатки в двух соседних пропусках

Совсем другая картина на осциллограммах момента прокатки (рис. 1б) в тот же период времени и в той же клетке. Здесь четко видны всплески моментов при изменении скорости как

при захватах (в первом и втором пропусках), так и при увеличении скорости в середине второго пропуска. На данных осциллограммах зафиксирована технология прокатки, при которой захват происходит при скорости 2 м/с, после чего скорость возрастает до 4 м/с (рис. 1в). В одном случае (на второй осциллограмме) после прокатки на скорости 4 м/с выполнен разгон до 5 м/с. Такая технология возможна в случае, когда скорость прокатки легко можно изменить. Поскольку валки ТЛС-3000 приводятся от двигателей постоянного тока, то проблема изменения скорости решается легко.

Однако есть случаи, когда скорость прокатки не регулируется, например, в приводах черновых клетей НШС установлены синхронные двигатели с постоянной скоростью вращения. В этом случае нужно применить другие приемы снижения скорости при захвате. Один из таких приемов – кося или фигурная обрезка конца прокатываемой полосы. Этот прием неоднократно опробован на практике и при этом показал, что дает эффект снижения паразитной нагрузки. В то же время, этот прием не нашел широкого применения из-за существенного остывания и непредсказуемой деформации фигурного конца раската [5].

Предлагаемый автором вариант снижения скорости при захвате заключается в установлении в приводе упругого вала-энергоаккумулятора, который при номинальной нагрузке в приводе может закручиваться на  $120 \dots 180^\circ$ . Это позволяет в два раза уменьшить скорость захвата (и ускорение) при неизменных оборотах станковых двигателей. В этом случае вал-энергоаккумулятор является активной деталью, т.е. такой деталью, которая существенно влияет на величины генерируемых нагрузок.

Такие детали всегда можно спроектировать и изготовить. Один из вариантов подобной активной детали представлен на рис. 2. Вал-энергоаккумулятор устанавливается взамен вала МЗП, который работает в клетях №4а между приводным двигателем и редуктором (НШС 1700 ПАО «ММК им. Ильича»). Вал имеет упругий элемент 1 из полиуретана в виде толстостенной трубы  $D = 550$  мм;  $d = 350$  мм. Он может передать крутящий момент 250 кНм при угле закручивания  $\varphi = \pi$  рад. При помощи двух стальных полумуфт 2 и пальцев 3 вал соединяется с упругим элементом 1, надетым с натягом на стальную трубу-оправку 4.

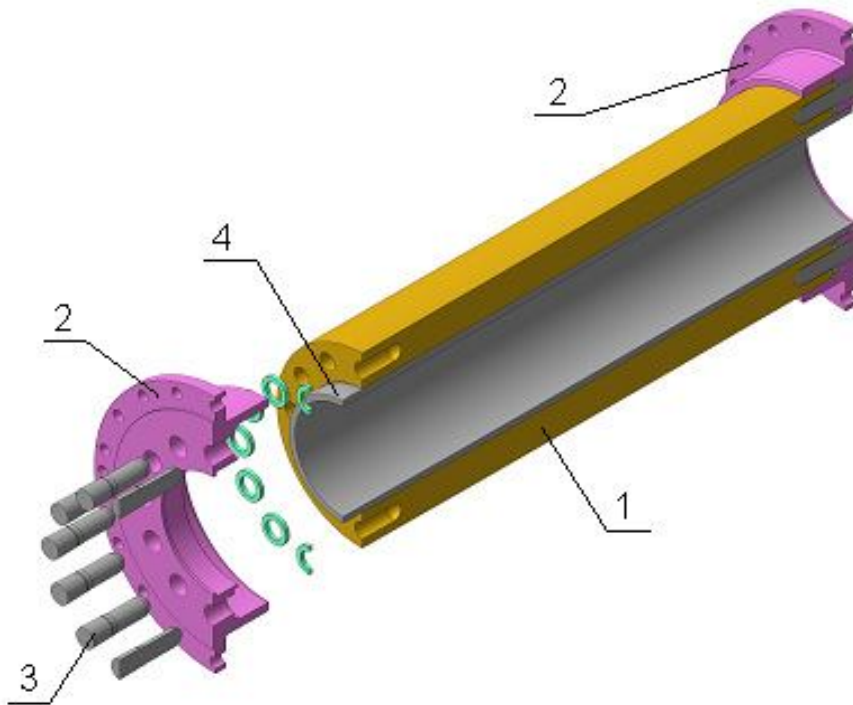


Рис. 2 – Конструкция упругого вала-энергоаккумулятора: 1 – полиуретановый упругий элемент; 2 – стальная полумуфта; 3 – стальные пальцы с коническими хвостовиками; 4 – стальная труба-оправка

Указанный угол закручивания обеспечивает двойное снижение скорости. Соответственно снижается горизонтальная нагрузка (примерно вдвое) и общая нагрузка в 1,5...1,6 раза, что позволяет избавиться от перегрузок и в несколько раз повысить долговечность деталей главной линии и рабочей клетки. Частота колебаний уменьшается на порядок, быстрее происходит их затухание. «Качество» увеличивается с 0,25 до 0,4 (рис. 3, 4).

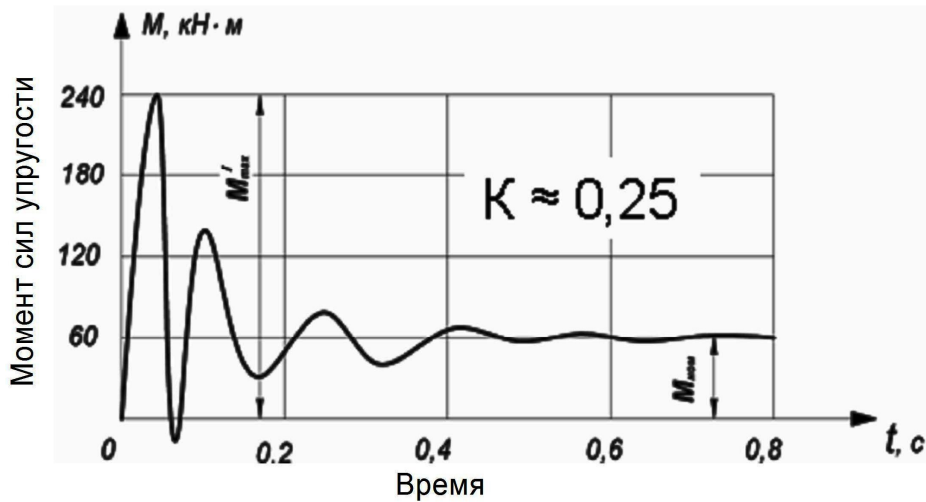


Рис. 3 – Момент сил упругости на быстроходном валу клетки №4а НШС 1700 ПАО «ММК им. Ильича»:  $M_{\max}^I$  – максимальный момент до модернизации;  $M_{\text{ном}}$  – номинальный момент

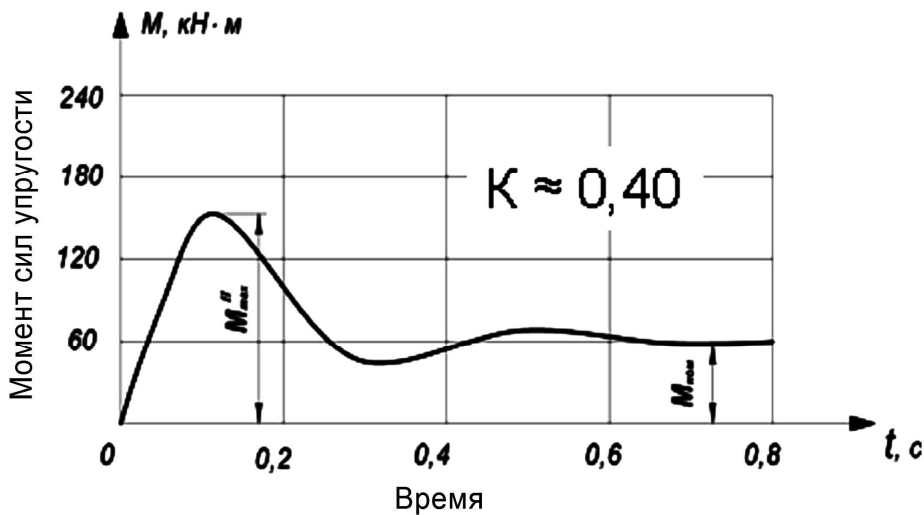


Рис. 4 – Момент сил упругости на быстроходном валу клетки №4а НШС 1700 ПАО «ММК им. Ильича»:  $M_{\max}^{II}$  – максимальный момент после модернизации;  $M_{\text{ном}}$  – номинальный момент

### Выводы

1. Особенности конструкции и характера нагружения листовых прокатных станов приводят к очень низкому «качеству» для некоторых силовых линий этих станов.
2. Повысить «качество» можно, изменив рабочие характеристики соответствующих силовых линий.
3. Наиболее приемлемый вариант для изменения рабочей характеристики – разработка и внедрение специальных активных устройств. Для черновой клетки 4а НШС 1700 активное уст-

ройство представляет собой упругий вал-энергоаккумулятор, устанавливаемый в главной линии взамен быстроходного моторного вала типа МЗП. Этот энергоаккумулятор позволяет повысить «качество» силовой линии в 1,6 раза.

**Список использованных источников:**

1. Артюх В.Г. Качество металлургической машины / В.Г. Артюх // Захист металургійних машин від поломок. – Мариуполь, 2009. – Вип. 11. – С. 23-28.
2. Артюх В.Г. Нагрузки и перегрузки в металлургических машинах : монография / В.Г. Артюх. – Мариуполь : ПГТУ, 2008. – 246 с.
3. Артюх В.Г. Горизонтальные силы при прокатке / В.Г. Артюх, Г.В. Артюх, В.О. Мазур // Вестник ПГТУ. – Мариуполь, 2009. – Вып. 19. – С. 128-132.
4. Большаков В.И. Исследования динамики, прочности и надежности металлургических машин / В.И. Большаков, В.К. Цапко // Захист металургійних машин від поломок. – Мариуполь, 2002. – Вип. 6. – С. 6-27.
5. Большаков В.И. Новые технические решения в металлургическом оборудовании / В.И. Большаков // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2000. – № 4.– С. 10-13.

**Bibliography:**

4. V.G. Artiukh. The quality of iron and steel machines / V.G. Artiukh // Prevention of failure of iron and steel machines. – Mariupol, 2009. – Issue 11. – pp. 23-28. (Rus.)
5. V.G. Artiukh. Loads and overloads in iron and steel machines : monograph / V.G. Artiukh. – Mariupol : PSTU, 2008. – 246 pp. (Rus.)
6. V.G. Artiukh. Horizontal forces at rolling practice / V.G. Artiukh // Vestnik of PSTU. – Mariupol, 2009. – Issue 19. – pp. 128-132. (Rus.)
7. V.I. Bolshakov. Investigation of dynamics, strength and reliability of iron and steel machines / V.I. Bolshakov, V.K. Tsapko // Prevention of failure of iron and steel machines. – Mariupol, 2002. – Issue 6. – pp. 6-27. (Rus.)
8. V.I. Bolshakov. New technological solutions for iron and steel facilities / V.I. Bolshakov // Iron & steel and mining industry. – 2000. – No4. – pp. 10-13. (Rus.)

Рецензент: В.В. Суглобов  
д-р техн. наук, проф., ДВНЗ «ПДТУ»

Статья поступила 01.12.2014

УДК 539.3

© Лупаренко Е.В.\*

**ЭФФЕКТИВНЫЙ МЕТОД РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ОБ УСТАНОВИВШИХСЯ  
КОЛЕБАНИЯХ СИММЕТРИЧНЫХ ПРЯМОУГОЛЬНЫХ ОБЛАСТЕЙ  
ОБЩЕГО ВИДА**

*В статье рассматривается решение задачи о вибродеформации элементов конструкций и деталей машиностроения поперечно-неоднородного прямоугольного сечения общего вида. Структурная неоднородность приводит к концентрации напряжений на границах раздела и в угловых точках сечения и определяет прочность детали в целом. Аналитическое решение задачи строится с помощью модификации метода суперпозиций.*

**Ключевые слова:** гармонические колебания, метод суперпозиции, изотропия.

\* канд. техн. наук, ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь, [luparenko\\_elena@bk.ru](mailto:luparenko_elena@bk.ru)