

УДК 621.981.47
Код ВАК 05.20.03

DOI: 10.52463/22274227_2021_38_64

И.И. Манило, Б.Я. Чирков, С.Г. Лопарева

МИНИМИЗАЦИЯ ОСТАТОЧНОГО ПРОГИБА ВАЛОВ ПРИ ИХ ПРАВКЕ В ПРОЦЕССЕ РЕМОНТА ПОЖАРНОЙ И СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «КУРГАНСКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ
АКАДЕМИЯ ИМЕНИ Т.С. МАЛЬЦЕВА», КУРГАН, РОССИЯ

I.I. Manilo, B.Ya. Chirkov, S.G. Lopareva

MINIMIZATION OF THE RESIDUAL DEFLECTION OF THE SHAFTS WHEN LEVELLING
THEM IN THE PROCESS OF FIRE AND AGRICULTURAL MACHINERY REPAIRING
FEDERAL STATE BUDGETARY EDUCATIONAL INSTITUTION OF HIGHER EDUCATION «KURGAN STATE
AGRICULTURAL ACADEMY NAMED AFTER T.S. MALTSEV», KURGAN, RUSSIA

Иван Иванович Манило
Ivan Ivanovich Manilo
доктор технических наук
AuthorID: 377393
kaf_ppb@mail.ru

Борис Яковлевич Чирков
Boris Yakovlevich Chirkov
кандидат технических наук, доцент
AuthorID: 652206
delind@mail.ru

Светлана Геннадьевна Лопарева
Svetlana Gennadevna Lopareva
кандидат технических наук
AuthorID: 951458
iflopareva@mail.ru

Аннотация. Цель исследований. Ведущее место при восстановлении (изготовлении) длинномерных деталей класса валов (валы, оси, тяги и т. п.) при ремонте пожарной, автотракторной и сельскохозяйственной техники в условиях ремонтно-технических предприятий АПК занимают процессы сварки и наплавки, термической (химико-термической) обработки. С их применением восстанавливается свыше 85% всех деталей рассматриваемого класса. Применение этих процессов позволяет значительно повысить эксплуатационные характеристики деталей, снизить их металлоемкость. Вместе с тем в результате термического воздействия на деталь снижается точность её размеров, увеличиваются отклонения формы и расположения поверхностей, изменяется шероховатость и появляется дефектный слой.

Методика. Основным видом деформации валов при их термообработке и сварке, наиболее беспокоящий технологов и производителей, является приращение отклонений от прямолинейности оси (изгибы в виде «сабельности»). Такие отклонения снижают контактную жесткость стыковых поверхностей и изменяют в процессе эксплуатации техники ее рабочие характеристики. В результате снижается или полностью теряется работоспособность, появляются различные нарушения, отказы техники и даже аварии. **Результаты.** Устранение отклонений геометрической оси валов от прямолинейности (изгиба) осуществляется на ремонтно-технических предприятиях АПК, преимущественно методом свободного упруго-пластического изгиба сосредоточенной нагрузкой на двух опорах (методом холодной правки). Такая правка валов чаще всего осуществляется на двухколонных вертикальных гидравлических прессах. Этому способствуют сравнительная простота кинематической схемы таких прессов, возможность точно выдерживать заданный закон движения рабочего инструмента (бойка) при значительных усилиях, получаемых при сравнительно небольших габаритных размерах рабочего пространства. Правильные агрегаты, созданные на основе вертикальных двухстоечных гидравлических прессов, в настоящее время являются основным технологическим оборудованием для правки деталей класса длинномерных ступенчатых валов в производственных цехах зарубежных и отечественных предприятий автомобильного, тракторного и сельскохозяйственного машиностроения, на ремонтно-технических предприятиях АПК и МЧС РФ, машинно-технологических станциях. При измерении величины прогиба валов, их ориентации в нужное для правки положение и отслеживании величины перегиба вала в противоположную первоначальной кривизне сторону применяются подружженные рычажные передачи, которые, выполняя роль буферов, предохраняют измерительные штоки датчиков кривизны от быстрого износа и толчков. Кроме того, путем повышения передаточного отношения рычагов можно увеличивать до необходимых пределов порог чувствительности механизма измерения прогиба и ориентации при правке валов с малыми величинами прогибов, в частности, менее 0,5 мм. **Научная новизна.** Предложены новый метод и устройство для ориентации и измерения величины упруго-пластического изгиба валов при их правке на гидравлических прессах по схеме свободного изгиба сосредоточенной нагрузкой на двух опорах. Показано решение задачи с применением методов относительных безразмерных параметров и без определения реакций в опорах (с использованием грузовой эпюры).

Ключевые слова: валы, правильный агрегат, рычажные передачи,

холодная правка, измерение прогиба, экстремальная точка прогиба, ориентация вала, укладка вала на опоры.

Abstract. The purpose of the research. The leading place in the restoration (manufacture) of long-length parts of the shaft class (shafts, axles, rods, etc.) in the repair of fire, automotive and agricultural machinery in the conditions of repair and technical enterprises of the agro-industrial complex is occupied by the processes of welding and surfacing, thermal (chemical-thermal) treatment. With their use, more than 85% of all parts of the class under consideration are restored. The use of these processes can significantly improve the performance characteristics of parts reducing their metal consumption. At the same time, as a result of thermal impact on the part, the accuracy of its dimensions decreases, deviations in the shape and location of the surfaces increase, the roughness changes and a defective layer appears. **Methodology.** The main type of shaft deformation during their heat treatment and welding, which is the most concerned with the technologists and manufacturers, is the increase in deviations from the straightness of the axis (bends in the form of "saber"). Such deviations reduce the contact stiffness of the butt surfaces and change the performance characteristics of the equipment during operation. As a result, reduced or completely lost performance, there are various violations, failures of equipment and even accidents. **Results.** Elimination of deviations of the geometric axis of the shafts from straightness (bending) is carried out at the repair and technical enterprises of the agro-industrial complex, mainly by the method of free elastic-plastic bending with a concentrated load on two supports (by the method of cold straightening). Such shaft straightening is most often carried out on two-column vertical hydraulic presses. This is facilitated by the comparative simplicity of the kinematic scheme of such presses, the ability to accurately withstand a given law of the working tool (striker) motion with significant efforts obtained with relatively small overall dimensions of the working space. The correct units created on the basis of vertical double-column hydraulic presses are currently the main technological equipment for straightening parts of the long-step shaft class in the production shops of foreign and domestic enterprises of automobile, tractor and agricultural engineering, at repair and technical enterprises of the agro-industrial complex and the Ministry of Emergency Situations of the Russian Federation, machine-technological stations. When measuring the amount of deflection of the shafts, their orientation to the desired position for editing and tracking the amount of bending of the shaft in the opposite direction to the original curvature, spring-loaded lever gears are used, which, acting as buffers, protect the measuring rods of the curvature sensors from rapid wear and shocks. In addition, by increasing the gear ratio of the levers, the sensitivity threshold of the deflection and orientation measurement mechanism can be increased to the necessary limits when straightening shafts with small deflections, in particular, less than 0,5 mm. **Scientific novelty.** A new method and device for orienting and measuring the elastic-plastic bending of shafts when they are straightened on hydraulic presses according to the free bending scheme with a concentrated load on two supports is proposed. The solution of the problem is shown using the methods of relative dimensionless parameters and without determining the reactions in the supports (using the cargo plot).

Keywords: shafts, correct assembly, lever gears, cold straightening, deflection measurement, extreme deflection point, shaft orientation, shaft laying on supports.

Введение. В отечественной и мировой практике изготовление пожарной, автотракторной и сельскохозяйственной техники, техники специального назначения и т. д. идет по пути снижения металлоемкости деталей, в том числе ответственного назначения, в частности, деталей класса валов, что снижает их жесткость при одновременном возрастании удельных нагрузок. Для придания таким деталям высоких эксплуатационных свойств и снижения затрат при их изготовлении (ремонте) широко применяются сварка и термическая (химико-термическая) обработка. Применение последних приводит к отклонению геометрической оси валов от прямолинейности. Поэтому при изготовлении (восстановлении) валов в технологический процесс включают операции правки (исправления отклонений геометрической оси от прямолинейности) по схеме свободного изгиба сосредоточенной нагрузкой на двух опорах.

Применение пластического изгиба (правки) для исправления таких отклонений уменьшает, а в целом ряде случаев и совсем исключает, механическую обработку резанием и сокращает потери металла, исключает нарушение целостности сформировавшейся при термической обработке структуры и создание дополнительных концентраторов напряжений, сохраняет упрочненный поверхностный слой деталей после химико-термической обработки.

Для обеспечения требуемого качества правки валов необходимо качественное выполнение нескольких операций. В частности, точное измерение исходных и остаточных отклонений геометрической оси валов от прямолинейности; вывод вала экстремальной точкой прогиба непосредственно под рабочий инструмент (штемпель, боёк); установку вала на призмы в рабочей зоне агрегата (например, на базе гидравлического пресса); упруго-пластический изгиб вала, закрепленного в подпружиненных центрах; измерение остаточной кривизны и повторная правка в случае необходимости [1-8].

При измерении величины прогиба валов, их ориентации в нужное для правки положение и отслеживании величины перегиба вала в противоположную первоначальной кривизне сторону применяются подпружиненные рычажные передачи, которые, выполняя роль буферов, предохраняют измерительные штоки датчиков кривизны от быстрого износа и толчков [9-12].

По мнению специалистов всемирно известной фирмы «Дженни», детали класса валов всех машин будущего не смогут миновать про-

цесс обработки исправлением правкой – «...будут ли они короткими или длинными, будут ли они простыми или сложными..., единственное что изменится, так это требования к точности и экономичности обработки» [13]. Используя те же принципы работы, шведская фирма «Тёрнз» создала модификации правильных прессов для правки валов различных конструкций автотракторной и сельскохозяйственной техники [14].

Таким образом, на ремонтных предприятиях все большую актуальность приобретают вопросы эффективного проведения процессов правки. Зачастую они являются финишными в общем процессе воспроизводства деталей и в значительной степени определяют точностные и эксплуатационные показатели их качества.

В процессе правки поперечным изгибом изогнутый вал необходимо перегнуть в «обратном» направлении с таким расчетом, чтобы после снятия нагрузки и упругой составляющей он был выпрямлен (радиус изгиба $R=\infty$).

При практической реализации этого условия процессом правки управляют по закону [14]:

$$\rho_u = \rho_{исх.} + \rho_{у.о.}, \quad (1)$$

где ρ_u – величина изгиба детали в обратную первоначальной кривизне сторону;

$\rho_{исх.}$ – исходный прогиб детали;

$\rho_{у.о.}$ – величина упругой отдачи (пружинение) детали.

Целью исследования является минимизация остаточного прогиба валов (карданных, торсионных и др.) при их правке в процессе ремонта пожарной и сельскохозяйственной техники в условиях ремонтно-технических предприятий АПК за счет применения рычажного механизма технологической системы правильного агрегата при выполнении операций измерения прогиба и упруго-пластического изгиба вала. Новизна заключается в разработке дифференциальных уравнений, позволяющих адекватно описывать вышеуказанные физические процессы при обработке валов упруго-пластическим изгибом.

Полученные формулы являются альтернативными применяемым для тех же целей [1-14] и обеспечивающими требуемую точность, однако они могут быть получены быстрее и не требуют предварительного определения реакций в опорах, на которые укладывается вал при его упруго-пластическом изгибе.

Методика. В общем случае механизмы измерения величины прогибов валов в контроли-

руемых сечениях, ориентации и нагружения валов упруго-пластическим изгибом представляют собой сложные кинематические системы, находящиеся под воздействием сжимающих скручивающих и изгибающих моментов [1, 4, 8, 14].

Проблема разработки новых технологий правки длинномерных деталей транспортных средств (валы, оси, тяги и т. п.), совершенствования конструкций правильных агрегатов, применяемых на ремонтно-технических предприятиях транспортных комплексов различных отраслей, предопределяет решение двух взаимосвязанных задач. В частности, задач, решения которых направлены на повышение точностных показателей ориентации детали (экстремальной точкой прогиба непосредственно под рабочий инструмент – штемпель) и обратного перегиба с учетом компенсации упругой отдачи. Обе задачи являются актуальными и требуют дальнейших исследований. С одной стороны, эта актуальность обусловлена возрастающими требованиями динамики машин и механизмов (скорости вращения, биения, вибрации и т. п.), с другой – многочисленностью вариантов деталей данного типа и жесткими требованиями к постоянному снижению их металлоемкости при обеспечении высокой надежности. Следует отметить, что в процессе ориентации валов одновременно осуществляется измерение их исходных прогибов, а в ряде случаев – измерение биений (так как часто требо-

вания к отклонениям геометрической оси валов от прямолинейности превышают требования к отклонениям их диаметров).

Известно многообразие способов и конструкций измерительных систем, решающих задачу повышения точности ориентации валов в технологической системе агрегатов правки, конструктивно (чаще всего) выполненных на базе вертикальных гидравлических прессов [1, 3, 5, 7, 11]. Особенностью устройств (систем) ориентации валов является наличие рычагов для передачи перемещений вращающегося вала к датчику измерения его прогиба [2, 4, 6, 8, 10, 11].

Результаты. В настоящей работе показана эффективность применения рычажного механизма как для измерения прогибов валов, так и для отслеживания момента появления пластической составляющей в общей упруго-пластической деформации изгибаемого вала. В частности, особенностью предложенной схемы является обеспечение возможности фиксирования и передачи измерительному штоку датчика перемещения (или записывающему устройству) только вертикальной составляющей величины прогиба вала в контролируемом поперечном сечении.

На рисунке 1 представлена схема рычажного механизма, близкого по назначению и описанному в [15]. При измерении прогиба вращающегося вала измерительный уголок – при-

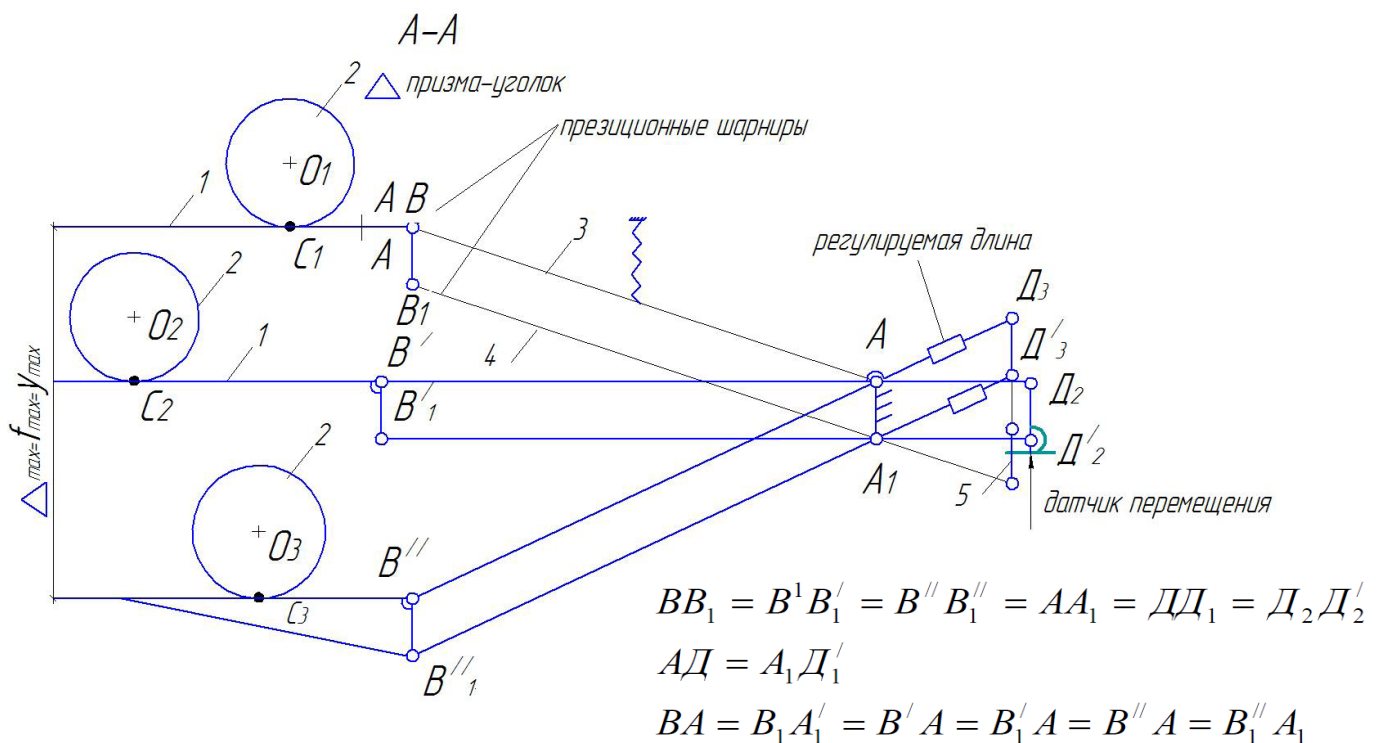


Рисунок 1 – Рычажный механизм измерения прогиба валов в трех положениях

зма 1 касается поверхности вала 2 в исследуемом сечении, ось которого при повороте (вращении) занимает положения O_1, O_2, O_3 и т. д., смещаясь по горизонтальной и вертикальной координатным осям.

Прибор фиксирует нужные нам вертикальные перемещения, поскольку силовое воздействие на вал при его правке осуществляется в конечном итоге на величину прогиба вала (с учетом упругой отдачи) в вертикальной плоскости, когда вал ориентируют экстремальной точкой прогиба (т. е. выпуклостью) в верхнее положение.

Положение измерительного уголка 1 задается коромыслами 3 и 4, которые имеют прецизионные шарниры в точках крепления В, В₁, а также – в точках А и А₁ (стойка).

Звенья ВВ₁, АА₁, ДД₁, а также звенья ВД и В₁Д₁ соответственно параллельны друг другу, образуя шарнирный четырехзвенник – пантограф.

Звено 5 (ДД₁) имеет Т-образную конфигурацию и находится в постоянном контакте с датчиком вертикальных перемещений, которые фиксируются на шкале (дискретно) или записываются на соответствующем носителе (аналогово).

На звеньях АД и А₁Д₁ предусмотрена регулировка длины для выбора величины перемещения, фиксируемого датчиком.

Для настройки датчика – фиксатора перемещений (для его тарировки) вместо исследуемого деформированного вала устанавливают эксцентрик с заранее известным эксцентриситетом. Набор эксцентриков должен охватить весь диапазон величин возможной деформации оси валов.

Величину прогиба вала целесообразно находить как экспериментально, так и аналитически.

Далее рассмотрим метод определения величины обратного перегиба вала в двухопорных балках (валах) как альтернативный существующему.

Найдем формулу для определения прогиба двухопорной балки, используя представления о дифференциальном уравнении упругой линии, а также возможности метода относительных безразмерных параметров [15]. В правой части используемого приближенного дифференциального уравнения упругой линии балок (валов) с постоянным сечением записывается переменная функция, позволяющая найти изгибающий момент в некотором сечении балки после определения реакций в опорах.

Рассматриваемую задачу можно решить проще, построив эпюру изгибающих моментов для выбранной расчетной схемы (рисунок 2) предложенным ранее [15] методом без определения реакций в опорах, используя только грузовую эпюру.

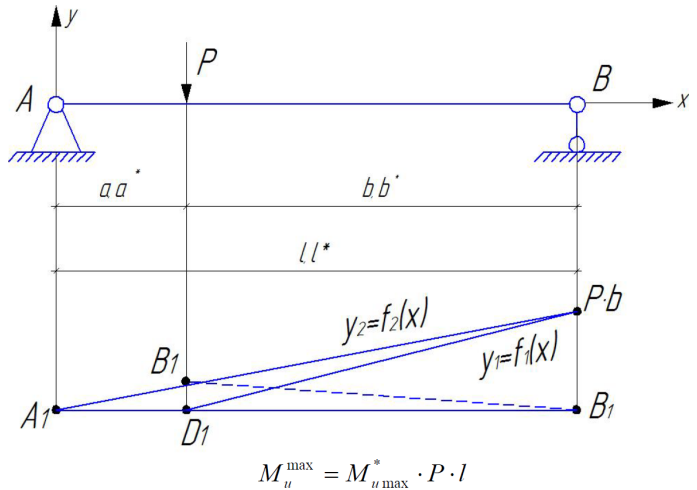


Рисунок 2 – Расчетная схема, эпюры изгибающих моментов (масштабы по осям абсцисс и ординат – разные)

На рисунке 2:

$$y_1 = P(x - a) \tag{2}$$

$$y_2 = \frac{P \cdot b}{l} x = \frac{P(l - a)}{l} x = P(1 - \frac{a}{l}) \cdot x \tag{3}$$

Теперь дифференциальное уравнение упругой линии примет вид:

$$EI_z \cdot y'' = \begin{cases} P(1 - \frac{a}{l}) \cdot x & \text{при } x \in [0, a], \tag{4} \\ P(1 - \frac{a}{l}) \cdot x - P(x - a) & \text{при } x \in [a, l], \tag{5} \end{cases}$$

где E и I_z – известные в механике параметры.

Прогиб вала при x = a определяем по формуле (4), а прогиб, например, в середине балки при x > a найдём по формуле (5).

Решим дифференциальное уравнение (5) для x > a:

$$EI_z \cdot y = P(1 - \frac{a}{l}) \cdot x - P(x - a) = P \cdot a(1 - \frac{x}{l}). \tag{6}$$

Интегрируем выражение (6) два раза:

$$EI_z \cdot y' = -0.5P \frac{a}{l} \cdot (l - x)^2 + C, \tag{7}$$

$$EI_z \cdot y = \frac{Pa}{6l} \cdot (l-x)^3 + C \cdot x + D. \quad (8)$$

При $x=l, y=0$ получим:

$$0 = C \cdot l + D. \quad (9)$$

Отсюда:

$$D = -C \cdot l, \quad (10)$$

при

$$x = a = \frac{l}{z}, y = \frac{Pl^3}{48EI_z}. \quad (11)$$

Тогда

$$\frac{Pl^3}{48} = \frac{Pl^3}{96} + 0,5C \cdot l + D. \quad (12)$$

Подставив (10) в (12), получим:

$$C = -\frac{Pl^2}{48}. \quad (13)$$

Из (10) получим:

$$D = \frac{Pl^3}{48}. \quad (14)$$

Окончательно найдем :

$$EI_z \cdot y = \frac{Pa}{6l} (l-x)^3 - \frac{Pl^2}{48} \cdot x + \frac{Pl^3}{48}. \quad (15)$$

При $x=l$ получим $y=0$,

$$\text{при } x = a = \frac{l}{z} \text{ найдем } y = \frac{Pl^3}{48EI_z} \quad (16)$$

Для участка $x \in [0, a < l/2]$ надо дважды проинтегрировать следующее дифференциальное уравнение:

$$EI_z \cdot y'' = P(1 - \frac{a}{l}) \cdot x. \quad (17)$$

Тогда получим:

$$EI_z \cdot y' = P(1 - \frac{a}{l}) \cdot \frac{x^2}{2} + C_1, \quad (18)$$

$$EI_z \cdot y = P(1 - \frac{a}{l}) \cdot \frac{x^3}{6} + C_1 \cdot x + D_1. \quad (19)$$

При $x = 0$ и $y = 0$ найдём: $D_1 = 0$.

$$\text{При } x = a = \frac{l}{2} \text{ и } y = \frac{Pl^3}{48EI_z} \text{ получим } C = \frac{Pl^2}{48}. \quad (20)$$

Тогда найдём:

$$EI_z \cdot y = P(1 - \frac{a}{l}) \cdot \frac{x^3}{6} + \frac{Pl^2}{48} \cdot x. \quad (21)$$

Для проверки подставим в (21) $x = 0$. Очевидно, окажется, что $y = 0$, т. е. прогиб в левой опоре будет равен нулю.

При $x = a = \frac{l}{2}$, получим

$$y = \frac{1}{EI} \cdot (\frac{Pl^3}{96} + \frac{Pl^3}{96}) = \frac{Pl^3}{48EI_z}. \quad (22)$$

Полученные формулы можно рассматривать как альтернативные, однако они получены быстрее и не требуют предварительно находить реакции в опоре.

При исследовании анонсируемой проблемы представляет интерес взаимосвязь прочностных и геометрических параметров при чистом изгибе валов с заданными механическими свойствами.

Определим максимальный статический изгибающий момент, который в состоянии выдерживать двухопорный вал, нагруженный сосредоточенной внешней силой. В результате преобразований (решения) удастся получить формулу, позволяющую вычислить статический прогиб вала в интересующем нас сечении, исходя из условий прочности в упругой области материала.

Проще всего изгибающий момент для двухопорного вала как функцию (рисунок 2) можно определить по формуле [14, 15]:

$$M = a^* \cdot b^* \cdot P \cdot l, \quad (23)$$

где $a^* = \frac{a}{l}$, $b^* = \frac{b}{l}$ и $l^* = \frac{l}{l} = 1$ относительные

безразмерные длины участков вала,
 P – внешняя сила,
 l – межопорное расстояние.

Максимальный изгибающий момент будет при $a = b = 0,5l$:

$$M_u^{max} = 0,25 \cdot P \cdot l. \quad (24)$$

Найдем наибольший изгибающий момент (в середине балки) из условий прочности:

$$M_u^{max} = [\sigma] \cdot W, \quad (25)$$

где $[\sigma]$ – допускаемое напряжение для материала вала;

W – момент сопротивления вала круглого сечения.

Из формулы (24) и (25) получим:

$$0,25Pl = [\sigma] \cdot W. \quad (26)$$

Отсюда найдем максимальную внешнюю силу, которую выдержит двух-опорный вал, находясь в упругой зоне:

$$P_{max} = \frac{4[\sigma]W}{l}. \quad (27)$$

Величину статического прогиба в середине длины вала найдем по формуле (22):

$$y_{cm} = \frac{P_{max} \cdot l^3}{48EI_z}, \quad (28)$$

где P_{max} , l , E , I_z – известные в механике параметры.

Используя (27) и (28), найдем максимальный статический прогиб:

$$y_{cm}^{max} = \frac{[\sigma] \cdot l^2}{6Ed_z}, \quad (29)$$

где d – диаметр вала в контролируемом опасном сечении.

Выводы. Получены дифференциальные уравнения, представляющие собой математическую модель и позволяющие определить: измерения прогиба валов в трех положениях; взаимосвязь прочностных и геометрических параметров при чистом изгибе валов с заданными физико-механическими свойствами; максимальный статический изгибающий момент, который в состоянии выдержать двухопорный вал, нагруженный сосредоточенной внешней силой; величину статического прогиба в контролируемом сечении вала.

В результате проведенных исследований установлено, что по условиям прочности величина прогиба зависит от геометрии вала и фи-

зико-механических свойств его материала и не зависит от величины внешней силы, деформирующей вал в упругой области. При этом для выхода в пластическую область надо увеличивать прилагаемую поперечную сосредоточенную нагрузку, обеспечивающую перегиб вала за его геометрическую ось на величину упругой отдачи.

Список литературы

1 Манило И.И. Повышение точностных показателей качества правки валов в АПК // Вестник Курганской ГСХА. 2018. № 4 (28). С. 63-67.

2 Манило И.И., Воинков В.П., Зыков В.И., Москвин П.В. Повышение точности ориентации валов сельхозмашин при их правке в условиях ремонтно-технических предприятий АПК // Вестник Курганской ГСХА. 2019. № 2 (30). С. 61-66.

3 Манило И.И., Воинков В.П. Эффективность использования асинхронного короткозамкнутого электродвигателя в силовом приводе правильного агрегата в условиях АПК // Вестник Курганской ГСХА. 2019. № 3 (31). С. 59-64.

4 Батищев А.Н., Голубев И.Г., Лялякин В.П. Восстановление деталей сельскохозяйственной техники. М.: Информагротех, 1995. 295 с.

5 Колясинский З.С., Сархошьян Г.Н., Лисковец А.М. Механизация и автоматизация авторемонтного производства. М.: Транспорт, 1982. 160 с.

6 Комплексная система технического обслуживания и ремонта машин в сельском хозяйстве. М.: РосНИТИ, 1985. 117 с.

7 Кононов И.В., Пугин Е.П. Оценка числа правок деталей с вытянутой осью на автоматическом правильном прессе с ЧПУ // Автоматические линии, комплексы и машины с программным управлением. Воронеж: ЭНИКМАШ, 1980. С. 29-39.

8 Применение ЧПУ на правильных прессах в Швейцарии и Италии // Экспресс-информация «Обработка давлением (технология и оборудование)». Выпуск 4. М.: НИИмаш, 1983. С. 19-21.

9 Гурин Ф.В., Клепиков В.Д., Рейн В.В. Технология автотракторостроения. М.: Машиностроение, 1971. 343 с.

10 Тимошенко С.П. Колебания в инженерном деле. М.: Наука, 1967. 446 с.

11 Корсаков В.С. Основы конструирования приспособлений: учебник для вузов. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Машиностроение, 1983. 277 с.

12 Манило И.И. Задача оптимального управления ориентацией детали в рабочей зоне правильного агрегата: сообщения по прикладной математике. Курган: КНЦ МАНЭБ, 2008. 43 с.

13 Правильный автомат ARP с управлением от микропроцессора // YENNY PRESSEN AG Industriestrasse 20 CH-8500 FRAUENFELD. Schweiz: Проспект №121R, 2012. 17 с.

14 Манило И.И. Повышение эффективности правки валов при ремонте сельскохозяйственной техники на основе оптимизации процессов ориентации и изгиба: дис... д-ра техн. наук. Челябинск: ЧГАУ, 2005. 398 с.

15 Повышение точностных показателей качества правки валов как важное решение актуальной научно-технической задачи в транспортном комплексе / И.И. Манило [и др.] // Инновации и исследования в транспортном комплексе: материалы третьей междунар. научн.-практ. конф. Курган: Изд-во Российская транспортная академия, ЗАО «Курганстальмост», 2015. Ч. II. С. 147-151.

List of references

1 Manilo I.I. Improving the accuracy of the quality of shaft editing in the agro-industrial complex // Vestnik Kurganskoy GSKhA. 2018. № 4 (28). Pp. 63-67.

2 Manilo I.I., Voinkov V.P., Zykov V.I., Moskvina P.V. Improving the accuracy of orientation of shafts of agricultural machines during their editing in the conditions of repair and technical enterprises of the agro-industrial complex // Vestnik Kurganskoy GSKhA. 2019. № 2 (30). Pp. 61-66.

3 Manilo I.I., Voinkov V.P. Efficiency of using an asynchronous short-circuited electric motor in the power drive of the correct unit in agro-industrial conditions // Vestnik Kurganskoy GSKhA. 2019. № 3 (31). Pp. 59-64.

4 Batishchev A.N., Golubev I.G., Lyalyakin V.P. Restoration of agricultural machinery parts. M.: Informagrotech, 1995. 295 p.

5 Kolasinsky Z.S., Sarkhoshyan G.N., Lisikovets A.M. Mechanization and automation of automotive repair production. M.: Transport, 1982. 160 p.

6 Comprehensive system of machine main-

tenance and repair in agriculture. M.: ROSNITI, 1985. 117 p.

7 Kononov I.V., Pugin E.P. Estimate of the number of edits of parts with an elongated axis on an automatic correct CNC press // Automatic lines, complexes and machines with software control. Voronezh: ENIKMASH, 1980. Pp. 29-39.

8 Application of CNC on correct presses in Switzerland and Italy // Express-information «Pressure treatment (technology and equipment)». Issue 4. M.: NIImash, 1983. Pp. 19-21.

9 Gurin F.V., Klepikov V.D., Rhine V.V. Automotive Engineering Technology. M.: Engineering, 1971. 343 p.

10 Tymoshenko S.P. Vibrations in engineering. M.: Science, 1967. 446 p.

11 Korsakov V.S. Fundamentals of designing devices: a textbook for universities. 2nd ed., redesign. and supplement M.: Engineering, 1983. 277 p.

12 Manilo I.I. The problem of optimal control of the orientation of the part in the working area of the correct aggregate: messages on applied mathematics. Kurgan: KNC MANEB, 2008. 43 p.

13 Correct ARP machine with microprocessor control // YENNY PRESSEN AG Industriestrasse 20 CH-8500 FRAUENFELD. Schweiz: Prospect № 121R, 2012. 17 p.

14 Manilo I.I. Improving the efficiency of shaft editing during the repair of agricultural machinery based on the optimization of orientation and bending processes: dissertation for the degree of Doctor of Technical Sciences. Chelyabinsk: ChGAU, 2005. 398 p.

15 Improving accurate quality indicators of shaft editing as an important solution to the current scientific and technical problem in the transport complex / I.I. Manilo [et al.] // Innovations and research in the transport complex: materials of the third international scientific project. conf. Kurgan: Publishing House of the Russian Transport Academy, ЗАО Курганстальмост, 2015. Vol. II. Pp. 147-151.