



*Analysis of modern tendencies of development of high-speed twisting machines for hardware branch is carried out. The presented review shows that development of perspective types of equipment for production of strands, cables and metal cord is not finished and creation of high-efficiency and economical twisting machines is being continued.*

А. В. ВЕДЕНЕЕВ, РУП «БМЗ»

## КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ МАШИН МНОГОКРАТНОГО КРУЧЕНИЯ. ЧАСТЬ 2.

### Машины с улучшенной технологичностью при свивке

К недостаткам метода двойного кручения относится, прежде всего, повышенное требование к качеству перерабатываемой проволоки по чистоте стали (неметаллические включения, повышенное содержание цветных металлов, азота и др.), дефектам метизного передела (низкий запас пластичности, склонность к расслоению и др.). Такая чувствительность технологии при изготовлении канатов методом двойного кручения связана со спецификой деформирования проволоки при свивке, где основное деформирующее воздействие на проволоку – кручение+растяжение и на порядок меньше изгиб [1–3].

Снижению обрывности проволок может способствовать уменьшение величины укрупнения проволок на шаге свивки за счет использования ротационной размотки для регулируемой подкрутки проволок, схема которой представлена на рис. 1 [4].

Проволока или прядь, разматываясь с катушки 1, сначала направляется против хода машины, полу-

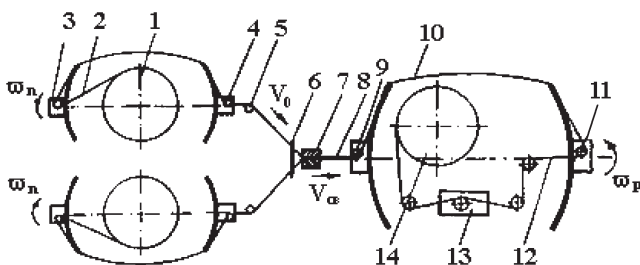


Рис. 1. Кинематическая схема свивочной машины двойного кручения с внешним расположением питающих катушек и узлом подкрутки проволоки: 1 – питающая катушка; 2 – проволока; 3 – первичная подкрутка; 4 – вторичная подкрутка; 5 – направляющие ролики; 6 – распределительный шаблон; 7 – плашки; 8 – витая структура; 9 – первичная свивка; 10 – «баллон»; 11 – вторичная свивка; 12 – витая структура с номинальным шагом; 13 – торсионный узел; 14 – приемная катушка

чая первичную подкрутку со скоростью  $w_n$  ротора 3, вращающимися синхронно в том же направлении, что и крутильный ротор машины 9 и 11. Затем, поступая в ротор 4, получают вторичную подкрутку. Далее проволоки или пряди формируются в структуру металлокорда в распределительном шаблоне 6, направляются в конус свивки в формирующих плашках 7, образуют витую структуру определенной конструкции, которая протягивается со скоростью  $V_{св}$  и вращается со скоростью  $w_p$  ротором 9 крутильной части машины. Затем металлокорд проходит по «баллону» и поступает в ротор 11, где получает дополнительную подкрутку до готового шага.

Соотношение скоростей  $w_n$  и  $w_p$  является важным для проволоки с точки зрения напряженного состояния в свитой структуре, а для пряди, кроме того, с точки зрения изменения шага свивки:

$$t_k = \frac{t_n t_{МК}}{t_{МК} \pm t_n \left( 1 \mp \frac{w_n}{w_p} \right)},$$

где  $t_k$  – конечный шаг свивки пряди в металлокорде;  $t_n$  – начальный шаг свивки пряди до свивки в металлокорд;  $t_{МК}$  – шаг свивки металлокорда;  $t_{МК} + t_n$  – направления свивки металлокорда и пряди совпадают;  $t_{МК} - t_n$  – разное направление свивки металлокорда и пряди;  $1 + \frac{w_n}{w_p}$  – разное направление

вращения свивочного ротора и ротационной размотки;  $1 - \frac{w_n}{w_p}$  – направление роторов совпадает.

На рис. 2 показана сравнительная схема образования упругих крутящих моментов для обычной машины двойного кручения и машины двойного кручения с ротационной размоткой.

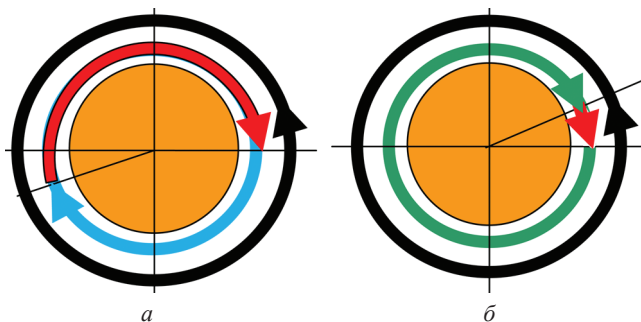


Рис. 2. Направление действия упругих крутящих моментов на проволоках (красный цвет) при полной деформации кручения проволок при свивке в металлокорд (черный цвет): *а* – после пластической деформации при кручении (синий цвет); *б* – после предварительной подкрутки (зеленый цвет); *а* – обычная машина двойной свивки; *б* – машина двойной свивки с регулируемой степенью подкручивания проволок (ротационная размотка)

За счет регулирования степенью подкрутки проволок перед свивкой в металлокорд можно добиться наилучшего прилегания проволок наружного повива к проволокам центральных слоев. Из рис. 2 видно, что использование ротационной размотки для отдельных проволок или прядей снижает уровень упругих крутящих моментов, поэтому в меньшей степени требуется воздействие торсиона для обработки корда крутильной деформацией. Снижение величины деформации кручения, как правило, ведет к снижению обрывности проволок при свивке.

На рис. 3 показана машина данного типа DV3TIR производства фирмы «Barmag», а технические характеристики машин, которые используются на РУП «БМЗ», приведены в табл. 1.

Таблица 1. Техническая характеристика канатного оборудования с ротационной размоткой РУП «БМЗ»

Технические данные	Канатные машины	
	RIR-15	DTAF 630/7
Максимальная частота вращения, об/мин	3500	1800
Максимальное количество круток, крутки/мин	7000	3600
Количество зарядных катушек, шт.	15 + 1; 16 + 1 16 + 2	6 + 1
Диаметры зарядных катушек, мм	190; 275	275
Мощность двигателя, кВт	7; 11	5,5; 25; 2×1,5; 37
Уровень шума, дБ	77	82
Тип или диаметр приемной катушки, мм	190; 275; BS40; BS60; BS80/17; BS80/33	DIN630

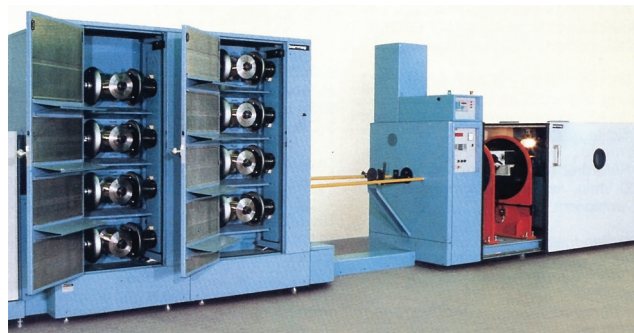


Рис. 3. Свивочная машина с ротационной размоткой DV3TIR (фирма «Barmag»)

Особенно актуальным стала возможность регулирования степени деформации на проволоки с помощью ротационных размоток при изготовлении компактных конструкций металлокорда и при свивке корда из сверх- и ультравысокопрочной проволоки. В первом случае упругие моменты в проволоке направлены на уплотнение конструкции, во втором случае на проволоку воздействуют минимальными крутильными деформациями, снижая работу деформации и меньше травмируя проволоку.

### Высокопроизводительные свивочные машины многократного кручения

В погоне за ростом производительности технологического оборудования и снижением себестоимости производители металлокорда ищут новые пути модернизации свивочного оборудования. Сдерживающим фактором для многих производителей являются ограниченные возможности технологического оборудования. Закупка новых единиц оборудования не всегда целесообразна, так как приводит к дополнительным затратам по подводу энергоносителей, перепланировке технологических участков (не всегда удачной). Дополнительной проблемой для широкомасштабного производства становятся использование морально устаревшего оборудования, а также возрастающие затраты на его ремонт. Перечисленные проблемы приводят к возрастанию себестоимости выпускаемого металлокорда, что немаловажно при получении прибыли в условиях рыночной экономики.

Одним из основных стратегических направлений увеличения производительности свивочного оборудования при производстве тросов и металлокорда является разработка машин с увеличенной кратностью свивки [5–7]. При этом возможно снижение скоростей вращения свивочных роторов, что, в свою очередь, позволит решить технические проблемы, связанные с обрывностью при свивке.

Производительность машин многократного кручения определяется по формуле:

$$P_{\phi} = \frac{60N_t t_{\text{МК}} n_p q_{\text{МК}}}{10^6} \text{ КИО};$$

где  $P_{\phi}$  – фактическая производительность оборудования, кг/ч;  $N_t$  – количество шагов, производимых за один оборот ротора (для машин двойного кручения  $N=2$ );  $t_{\text{МК}}$  – шаг свивки металлокорда, мм;  $n_p$  – скорость вращения свивочного ротора, об/мин;  $q_{\text{МК}}$  – вес 1 пог. м металлокорда, г/м; КИО – коэффициент использования оборудования.

Из приведенной формулы видно, что особенностью кинематики свивки на машинах многократного кручения является то, что за один оборот свивочного ротора образуется длина металлокорда, равная  $N$  шагов свивки.

Полученная зависимость скорости наматываемого металлокорда от кратности образующегося количества шагов свивки металлокорда показывает, что с ростом числа шагов металлокорда за один оборот свивочных роторов канатной машины прямо пропорционально возрастет и ее производительность. Повышение производительности за счет роста скорости вращения свивочного ротора ограничено центробежной нагрузкой, действующей на вращающуюся нить металлокорда и приводящей ее к обрыву.

В качестве примера машин многократного кручения можно привести разработанную и успешно примененную фирмой «Pirelly» в 80-х годах машину СДТ-115 типа «тандем» в виде сдвоенных машин двойного кручения (рис. 4) [8].

Размещение двух свивочных узлов в единый агрегат свивки позволило повысить общую производительность производства канатов за счет исключения одной операции свивки. Развитием идеи «тандема» стала машина 4-кратной свивки QT3 производства фирмы «GCR» [5, 9] (рис. 5).

Особенностью машины является возможность изготовления металлокорда с разной скоростью вращения свивочных роторов модулей 1 и 2. Данные машины позволяют экономить производственные площади и линии коммуникаций. В свивочной машине четырехкратной свивки фирмы «GCR» (рис. 5) сочетается скорость вращения современ-

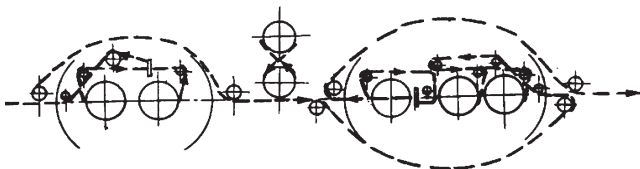


Рис. 4. Схема заправки свивочной машины СДТ-115 (фирма «Pirelly»)

ных машин двойного кручения и в 2 раза большая производительность.

Готовый шаг свивки металлокорда на машине типа «тандем» образуется согласно кинематической зависимости:

$$t_4 = \frac{V}{2 \cdot 9,549(W_1 + W_2)},$$

где  $V$  – скорость вытяжки металлокорда;  $W_1, W_2$  – соответственно угловая скорость вращения ротора модуля 1 и 2.

При одинаковой скорости вращения роторов свивочных модулей ( $W$ ), установленных по схеме «тандем», шаги металлокорда по зонам свивки распределяются следующим образом:

- модуль двойного кручения с отдающими катушками:

I зона

$$t_1 = \frac{V}{9,549W};$$

II зона

$$t_2 = \frac{V}{2 \cdot 9,549W} = \frac{1}{2} t_1;$$

- модуль двойного кручения с приемной катушкой:

III зона

$$t_3 = \frac{V}{3 \cdot 9,549W} = \frac{1}{3} t_1;$$

IV зона

$$t_4 = \frac{V}{4 \cdot 9,549W} = \frac{1}{4} t_1.$$

Таким образом, при использовании предложенной схемы величина исходного шага свивки уменьшается в 4 раза, т. е. во столько же раз увеличивается ее производительность.

При этом возникает вопрос об уровне обрывности проволок при свивке металлокорда, который

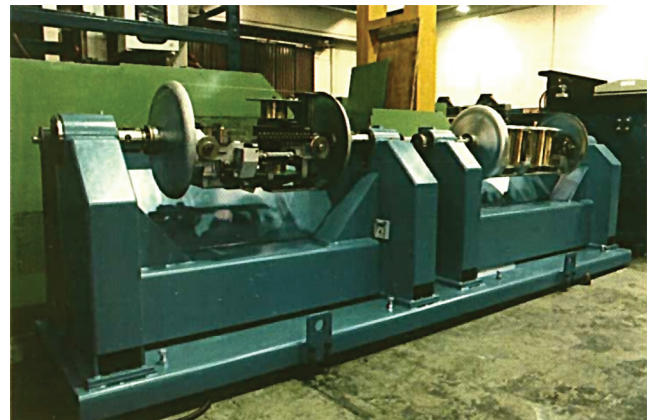


Рис. 5. Машина четырехкратной свивки (фирма «GCR») с расположением двух свивочных модулей типа «тандем»

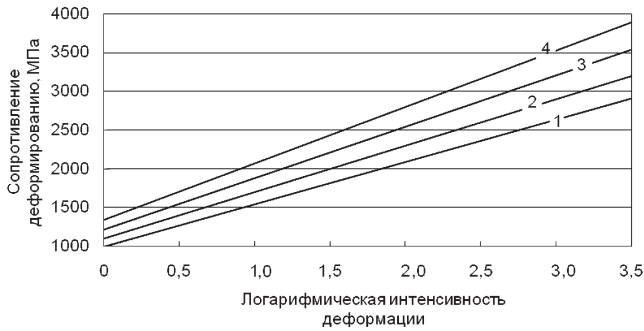


Рис. 6. Зависимость сопротивления деформированию  $\sigma_s$  от логарифмической интенсивности деформаций  $\ln(\epsilon_j)$  для различных интенсивностей скоростей деформаций  $\xi_j$ : 1 –  $\xi_j = 0,8 \cdot 10^{-4} \text{ с}^{-1}$ ; 2 –  $0,8 \cdot 10^{-3}$ ; 3 –  $0,8 \cdot 10^{-2}$ ; 4 –  $0,8 \cdot 10^{-1} \text{ с}^{-1}$

при одинаковом качестве материала проволоки будет зависеть от скорости деформации. При повышении скорости деформации растет неравномерность напряженного и деформированного состояния, что приводит к локализации деформации и разрушению проволоки [10]. С возрастанием скорости деформации возрастает доля упругих деформаций, но при этом уменьшается запас пластичности [11].

Ввиду того что наиболее опасной (с точки зрения обрывности) деформацией при свивке проволоки на машинах двойного кручения является деформация кручения [1], то на рис. 6 приведено сравнение скоростей деформации при использовании различных вариантов свивочных машин многократного кручения.

Из рис. 7 видно, что с увеличением ступеней деформации скорость деформации снижается, что должно благоприятно сказаться на технологичности процесса свивки. На рис. 8 показана различная скорость деформации проволоки через интенсивность изменения шага свивки при изготовлении металлокорда 2x0,30 НТ.

Полученные зависимости показывают, что для снижения скорости деформации проволоки при свивке и соответственно повышения технологичности лучше подходят машины с кратностью свивки более двух.

### Перспективы развития свивочных машин в сторону многократного кручения

Создание компактных свивочных машин многократной свивки только начинает зарождаться. В работе [7] описана машина для изготовления металлокорда, которая содержит свивочный модуль четверной свивки, включающий сдвоенные ротора типа «ротор в роторе», обеспечивающие компактное расположение скручивающих зон на одной станине, оснащенные роторными дисками (бугелями), причем внутренние роторы опираются на

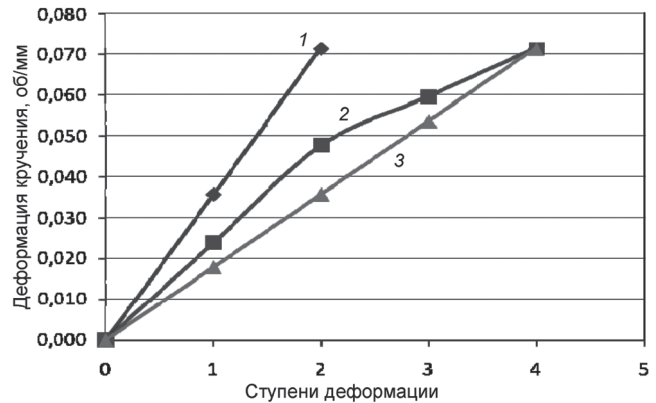


Рис. 7. Изменение деформации кручения проволоки при свивке металлокорда 2x0,30 НТ: 1 – обычная машина двойной свивки; 2 – машина типа «тандэм» со скоростью вращения первой пары роторов в 2 раза выше последней; 3 – машина типа «тандэм» с одинаковой скоростью вращения роторов свивочных модулей

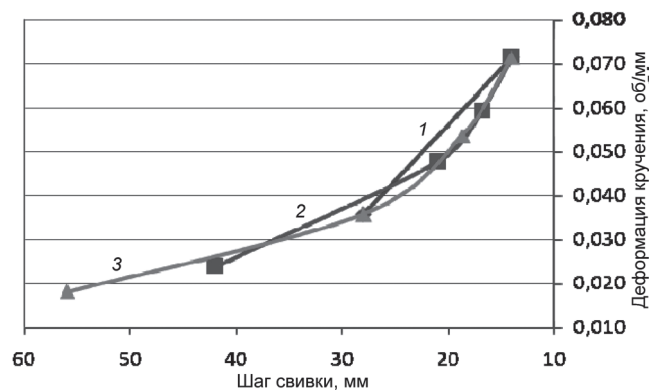


Рис. 8. Изменение деформации кручения проволоки от шага свивки при свивке металлокорда 2x0,30 НТ разными методами: 1 – обычная машина двойной свивки; 2 – машина типа «тандэм» со скоростью вращения первой пары роторов в 2 раза выше последней; 3 – машина типа «тандэм» с одинаковой скоростью вращения роторов свивочных модулей

внутренние стенки наружных роторов с помощью подшипников, диаметр внутренних роторных дисков (бугелей) меньше диаметра наружных роторных дисков (бугелей), наружная пара роторов присоединена к электродвигателю посредством синхронизирующего вала, а зубчатые колеса наружного и внутреннего роторов связаны паразитными (промежуточными) шестернями.

Фактически в данном типе свивочных машин заложено многократное повторение принципа двойного кручения, т. е. расположение отдельных узлов свивки по принципу «матрешки». На рис. 9 приведены схемы исполнения компактных свивочных машин 4-кратной свивки с расположением разматывающихся катушек внутри свивочной части и вне ее.

При работе данных схем свивочных машин вращение наружных и внутренних роторов будет противоположным. Угловые скорости вращения

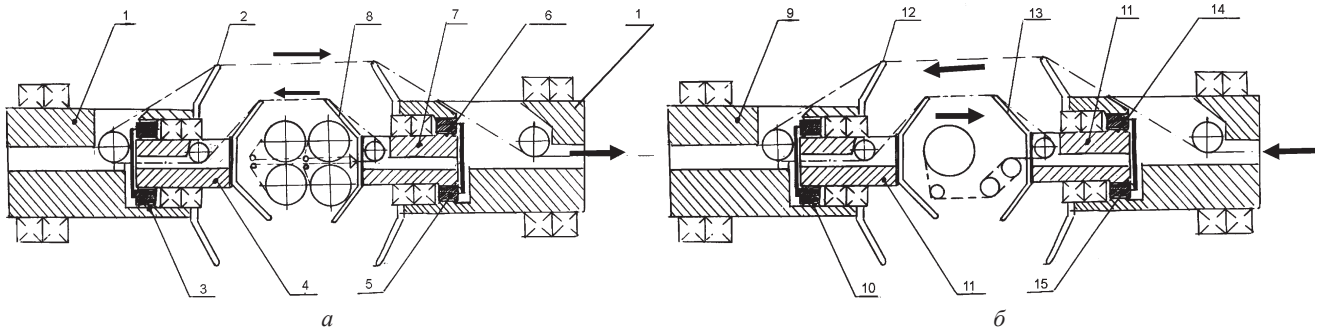


Рис. 9. Варианты исполнения компактной машины многократной свивки с системой «ротор в роторе»: а – «изнутри–наружу»; б – «снаружи–вовнутрь» [7]; 1, 9 – наружная роторная пара; 2, 12 – роторные диски; 3, 10 – внутренние шестерни; 4, 7, 11 – внутренние ротора; 5, 15 – шестерни-сателлиты; 6, 14 – солнечная шестерня

роторных пар валов зависят от передаточного отношения зубчатой передачи.

В 2010 г. на выставке в г. Дюссельдорфе «Wire&Cable 2010» фирма «Euroalpha Srl.» представила машину 4-кратной свивки В630-F (рис. 10) [12].

Конструкция машины В630-F представляет собой схему «снаружи-вовнутрь» с возможностью изготовления конструкции 1 + 6 + 12. Передача вращения от наружного ротора к внутреннему производится при помощи зубчато-ременных передач. При этом скорости вращения внутренних свивочных роторов равны или больше скорости внешних роторов.

Другим вариантом машины многократной свивки является модель TS 2/200 (рис. 11, табл. 2), изготовленная РУП «БМЗ» на базе машины двойного кручения ТД 2/601 (фирма Danieli). Данная компактная машина 4-х кратной свивки выполнена в схеме «изнутри-наружу». Передача вращения от наружного ротора к внутреннему производится при помощи планетарной передачи. Скорость вращения внутреннего ротора в 2 раза превышает скорость вращения наружного свивочного ротора. В результате свивки за один оборот наружного ротора образуется шесть шагов свивки.

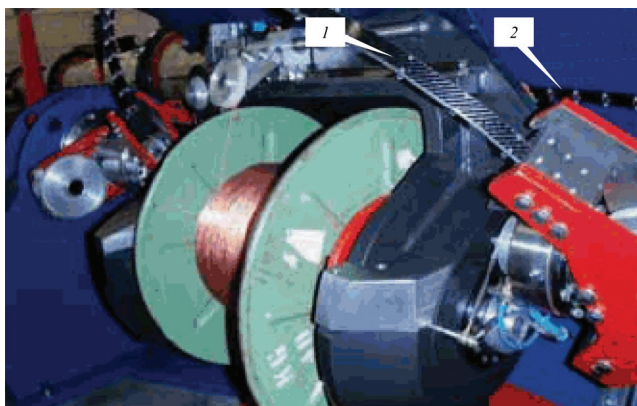


Рис. 10. Машина 4-кратной свивки (фирма «Euroalpha Srl.»): 1 – внутренняя дуга; 2 – наружная дуга

Таблица 2. Техническая характеристика канатного оборудования 4-кратной свивки

Технические данные	Канатные машины	
	TS 2/200	В 630-F
Максимальная частота вращения, об/мин	3000	2500
Максимальное количество круток, крутки/мин	18000	10000
Количество зарядных катушек, шт.	2; 3; 4	7; 19
Диаметры зарядных катушек, мм	190	DIN 560; DIN 800
Уровень шума, дБ	77	80
Тип или диаметр приемной катушки, мм	190; 275; BS40; BS60; BS80/17; BS80/33	DIN630

Согласно кинематике свивки, в машине NS 2/200 шаг свивки пряди или каната определяется по выражению:

$$t_{\text{мк}} = \frac{V}{2 \cdot 9,549(W_{\text{нар}} + W_{\text{внутр}})} = \frac{V}{2 \cdot 9,549(W_{\text{нар}} + 2W_{\text{нар}})} = \frac{V}{6 \cdot 9,549W_{\text{нар}}}$$

где  $V$  – скорость вытяжки металлокорда;  $W_{\text{нар}}$  – угловая скорость вращения наружного ротора;  $W_{\text{внутр}}$  – угловая скорость вращения внутреннего ротора.

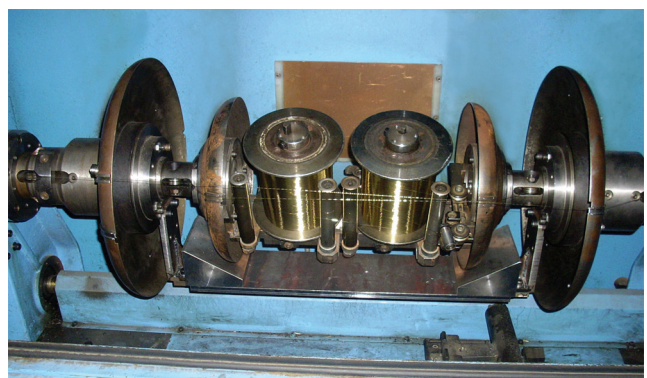


Рис. 11. Общий вид действующей машины TS 2/200 РУП «БМЗ»

Перспективой развития высокопроизводительного свивочного оборудования может быть совмещение машин 4-кратной свивки и схемы их состыковки в «тандэм» [7]. Но в этом случае рационально увеличение объема питающих и приемной катушек.

### Выводы

Проведен анализ современных тенденций развития высокоскоростных свивочных машин для метизной отрасли. Увеличение кратности свивки дает возможность увеличения удельной производительности с единицы занимаемой технологиче-

ским оборудованием площади. Это, в свою очередь, ведет к снижению себестоимости канатных изделий. Направление на создание свивочных машин модульного типа также может привести к оптимизации затрат при эксплуатации, используя различные функциональные комбинации модулей размотки, свивки, намотки и др. Представленный обзор показывает, что развитие перспективных видов оборудования для изготовления пряжей, канатов и металлокорда не закончено и продолжается создание высокоэффективных, экономичных и компактных свивочных машин.

### Литература

1. Бирюков Б. А., Феоктистов Ю. В., Веденеев А. В. Снижение обрывности проволоки при свивке из нее пряжей и металлокорда на свивальных машинах двойного кручения. М.: БНТИ «Черная металлургия». 1991. № 1. С. 62–63.
2. Бирюков Б. А., Феоктистов Ю. В., Веденеев А. В. Особенности свивки металлокорда на машинах одинарного и двойного кручения // Тез. докл. ВНТС «Пути ускорения научно-технического прогресса в метизном производстве». Магнитогорск, 1990. С. 101–102.
3. Немудрый Б. А. Оборудование для свивки металлокорда. М.: Черметинформация. 1980. Сер. 9. Вып. 2.
4. Королев В. Д. Канатное производство. М.: Металлургия, 1980.
5. A double-double twist and a skip strander. Wire Journal International, May, 2000.
6. Parise M., Pattacini P. Macchina per la trefolatura di un fascio di fili. Pat. № PD32150 от 26.03.2010 г.
7. Веденеев А. В., Филиппов В. В., Баглай Г. В. Способ изготовления металлокорда и машина для его осуществления. Пат. ВУ 7345 С1 от 24.05.2005 г.
8. Райз М. Ш., Анцупова Н. И., Гурьянова Л. П. Совершенствование конструкций и технологии изготовления металлокорда. М.: Черметинформация. 1986. Вып. 2. Сер. Метизное производство.
9. Веденеев А. В., Панизович В. С. Современные тенденции развития оборудования для свивки металлокорда // Литье и металлургия. 2005. № 4. С. 81–85.
10. Фридман Я. Б. Механические свойства металлов. М.: Машиностроение, 1974. Ч. 1.
11. Верещагин М. Н., Бобарикин Ю. Л., Савенок А. Н., Веденеев А. В. и др. Влияние скорости волочения на температуру и напряженно-деформированное состояние высокоуглеродистой проволоки // Сталь. 2007. № 12, С. 53–58.
12. New four-twist bunching mashine from Euroalpha// EuroWire, January 2011.