



<https://doi.org/10.21122/1683-6065-2022-4-12-18>  
УДК 621.74

Поступила 06.10.2022  
Received 06.10.2022

## МЕХАТРОННО-МОДУЛЬНОЕ ПРОИЗВОДСТВО СТАНКОВ – ФУНКЦИЯ СТОИМОСТИ РЕСУРСОВ

*А. В. ЯНТОВСКИЙ, ООО «ТЕХСТАНКО-21», г. Москва, Россия, ул. Радио, 12,  
С. С. ТКАЧЕНКО, Филиал РАХ «Творческая мастерская «Литейный двор»,  
г. С.-Петербург, Россия, Расстанный проезд, 1. E-mail: spblenal@mail.ru  
М. А. ИОФФЕ, ООО «Литье Сервис», г. С.-Петербург, Россия. E-mail: ima@mail.ru  
Р. Д. ФАРИСОВ, ПАО «КАМАЗ», Россия. E-mail: risun@mail.ru*

*Ежегодное и перспективное увеличение стоимости ресурсов (материальных и энергоносителей) приводит к увеличению себестоимости литых заготовок, стоимости станков и снижению их конкурентоспособности. Предлагаются направления бережливости основных и вспомогательных материалов, сокращения сроков изготовления станков за счет революционного подхода к принципам конструирования и создания базовых деталей из унифицированных модульных литых заготовок.*

**Ключевые слова.** *Стоимость ресурсов, бережливость, сложность базовых отливок (крупных) в станкостроении, унификация отливок, модульное станкостроение.*

**Для цитирования.** *Янтовский, А. В. Мехатронно-модульное производство станков – функция стоимости ресурсов / А. В. Янтовский, С. С. Ткаченко, М. А. Иоффе, Р. Д. Фарисов // Литье и металлургия. 2022. № 4. С. 12–18. <https://doi.org/10.21122/1683-6065-2022-4-12-18>.*

## MECHATRONIC-MODULAR PRODUCTION OF MACHINE TOOLS – IS A FUNCTION OF THE COST OF RESOURCES

*A. V. YANTOVSKY, LLC “TEHNOSTANKO 21”, Moscow, Russia, 12, Radio str.  
S. S. TKACHENKO, Branch of the Russian Academy of Arts “Creative Workshop “Foundry Yard”,  
Saint Petersburg, Russia, 1, Rasstanny proezd. E-mail: spblenal@mail.ru  
M. A. IOFFE, LLC “Casting-Service”, Saint Petersburg, Russia. E-mail: ima@mail.ru  
R. D. FARISOV, PTC “KAMAZ”, Russia. E-mail: risun@mail.ru*

*The annual and prospective increase in the cost of resources (material and energy carriers) leads to an increase in the cost of cast blanks, the cost of machine tools and a decrease in their competitiveness. The directions of thrift of basic and auxiliary materials, reduction of machine tool manufacturing time due to a revolutionary approach to the principles of design and creation of basic parts from unified modular cast blanks are proposed.*

**Keywords.** *Cost of resources, thrift, complexity of basic castings (large) in machine tool construction, unification of castings, modular machine tool construction.*

**For citation.** *Yantovsky A. V., Tkachenko S. S., Ioffe M. A., Farisov R. D. Mechatronic-modular production of machine tools – is a function of the cost of resources. Foundry production and metallurgy, 2022, no. 4, pp. 12–18. <https://doi.org/10.21122/1683-6065-2022-4-12-18>.*

Может на первый взгляд показаться странным, но, видимо, резкий рост цен на энергоресурсы и соответственно на металлы, химическую продукцию и др., даст новый толчок к значительному техническому прогрессу – 5-й технической революции, связанной с пересмотром отношения к заготовительным производствам. Вторичность этих производств долгие годы была обусловлена сравнительно незначительными и стабильными затратами на их производство в стоимости конечных изделий. В период первых пятилеток времен индустриализации и электрификации, когда в стране закладывались основы отечественного станкостроения, и до развала СССР у нас были самые низкие цены на материалы, энергоносители и рабочую силу. Продукция была значительно дешевле аналогичной зарубежной. Были планы по снижению трудоемкости (т. е. себестоимости), ежегодные пересмотры норм снижения трудоемкости, т. е. происходило снижение себестоимости за счет уменьшения величины оплаты труда. Поэтому затраты на материалы,

энергоносители, занимаемые площади, время на производство станков отодвигались на второй – третий план проблемных вопросов. Производство крупных отливок во все времена было убыточно (несмотря на необходимость), но «в условиях развитого социализма» нерациональные затраты списывались на обще-заводские расходы. Однако в настоящее время ситуация меняется и если не пересмотреть коренным образом технологический подход как к станкостроительной продукции в целом, так и к ее заготовительно-му переделу, изготовлению литых компонентов и заготовок, то стоимость конечного продукта возрастет в разы, что скажется и на стоимости всех товаров как промышленного, так и бытового назначения, что, в свою очередь, резко подтолкнет инфляцию и т.д. В сложившихся условиях далеко не многие производители обрабатывающего оборудования смогут себе позволить индивидуальный заказ литья под каждый тип или типоразмер станка. И не каждый потребитель будет готов такое оборудование приобрести. Промышленное производство – это основополагающий фактор технического прогресса и устойчивого развития общества. Каждое предприятие должно постоянно совершенствовать управление и технологию производства, повышать его эффективность. Для этого необходим глубокий анализ проблем в долговременном аспекте с учетом финансовых и производственных возможностей предприятия.

Следовательно, либо инфляционные ожидания начнут резко возрастать, либо будут найдены технические решения снижения ресурсопотребления начиная с заготовительных производств за счет унификации и модульных принципов проектирования и изготовления узлов конечного продукта.

В условиях постоянного развития инженерно-технических программ конкурентоспособными могут быть только те предприятия, которые ориентированы на работу в стремительно меняющейся экономической ситуации. Если технологии и общество быстро развиваются, а предприятия не в состоянии адаптироваться к новым условиям, то по теории эволюции это приводит к исчезновению определенных типов компаний [1]. Недопущение этого достигается грамотным применением различных инструментов современного менеджмента и системного подхода. Особую актуальность эти стратегические задачи приобретают для отечественного станкостроения с учетом его роли в общем машиностроительном комплексе отраслей. Основным фактором повышения эффективности станкостроительных предприятий является борьба с потерями основных ресурсов (времени, финансов, информации, материалов, энергии и др.), где энергетические затраты в последнее время становятся особенно актуальными. При модульном станкостроении [2, 3] реализуются основные современные организационно-управленческие концепции, направленные на ресурсосбережение, повышение технологического уровня и эффективности. При этом эффект экономии обеспечивается на всех стадиях жизненного цикла станка (при проектировании, изготовлении, эксплуатации и ремонте, утилизации). В настоящее время преимущественное применение получили концепции бережливого производства, быстрореагирующего производства, процессного подхода, встроенного качества и др. Синтез указанных систем при их совместном применении обеспечивает получение синергетического эффекта, что характерно для модульного станкостроения.

В середине 50-х годов начала выстраиваться особая система организации производства, получившая в России название «бережливое производство» [4].

В начале 90-х годов профессором Раджаном Сури была разработана концепция быстрореагирующего производства (Quick Response Manufacturing – QRM) [5], которая представляет систему управления производством, позволяющую значительно повысить эффективность его функционирования за счет сокращения времени выполнения заказа.

На базе синергетики Г. Хакена в последней четверти XX века стали возникать «отраслевые» синергетические школы. Системно-синергетический подход стал использоваться для решения таких проблем, которые не поддавались решению классическими методами [6]. Синергетика – это учение о взаимодействии множества элементов в рамках единой системы [7].

Процесс непрерывного постоянного совершенствования заложен в концепции бережливого производства. В соответствии с ней «предприятие независимо от финансовых показателей должно постоянно совершенствовать свои процессы». Подход быстрого реагирования согласуется с принципами бережливого производства. Быстрореагирующее производство не противоречит бережливому производству, а, наоборот, используя тот же инструментарий, дополняет его. Синергетический подход в процессе непрерывного постоянного повышения эффективности, примененный на основе принципов бережливого производства и быстрого реагирования, усиливает их значимость для достижения положительных результатов.

Каждая из упомянутых парадигм характеризуется своими ярко выраженными особенностями и спецификой, однако все три концепции имеют много общего и, главное, базируются на единых ценностях и принципах совершенствования производства с целью экономии ресурсов и повышения эффективности.

Унификация узлов и механизмов при модульном станкостроении отвечает принципам QRM, так как позволяет повысить серийность, как следствие, удешевить производство, сократить время на его подготовку, сократить количество необходимой номенклатуры технологической оснастки. Принципы быстро реагирующего производства позволяют оперативно внедрять конструкторские и технологические решения в производство. В рамках быстрого реагирования используются инструменты, которые позволяют значительно сократить время внедрения конструкторско-технологических решений в производство. Внедрение быстро реагирующего производства подразумевает глубинную структурную перестройку – переход от функциональных подразделений к многофункциональным целевым самоуправляемым офисным и производственным ячейкам и сокращение управленческой иерархии. Специальный инструментальный быстро реагирующего производства позволяет повысить гибкость и эффективность взаимодействия производственных и офисных ячеек, ориентированных на единую цель. Внедрение быстро реагирующего производства открывает новые возможности для профессионального роста сотрудников компании за счет овладения смежными профессиями и активного участия в принятии решений в самоуправляемых ячейках.

Синергетический подход в процессе внедрения бережливости и быстрого реагирования предполагает введение дополнительных методов, математических моделей и приемов в методы бережливого производства и опирается на принцип согласования. Именно согласование взаимодействий подсистем отличает синергетический подход от традиционного.

Применение в процессе непрерывного постоянного повышения эффективности модульного станкостроения принципов бережливого производства, быстро реагирующего производства и синергетики может быть определено как «процессный подход». Преимущество «процессного подхода» состоит в непрерывности совершенствования на стыке отдельных процессов в рамках единой системы, а также при их комбинации и взаимодействии. Такой подход вполне согласуется с основной линией синергетики.

Для поддержания конкурентоспособности станкостроительным предприятиям необходимо постоянное совершенствование технологий. Станкостроительные процессы – это сложные системы. Для управления ими в рамках единого направления необходимо объединить методы теории систем, управления и контроля с определением на каждом уровне исследований технологических и информационных (количество информации, энтропия, максимум достоверности, минимакс и т.д.) критериев.

Благодаря постоянному улучшению, основанному на применении принципов синергии, бережливости и быстрого времени реагирования, достигается снижение изменчивости наиболее важных процессов, что приводит к повышению результатов деятельности организации.

Реализация модульного станкостроения должна основываться на классификации станкостроительной продукции по комплексу критериев (функциональному назначению, технологическим возможностям, композиционному построению, точностным параметрам, скорости обработки и др.) и ее (продукции) модульных частей с одной стороны; на выборе рациональных вариантов и оптимизационных процедурах на всех иерархических этапах модульного конструирования и изготовления с другой стороны; и, наконец, на коренном организационном преобразовании предприятий станкостроения на принципах концентрации и специализации с третьей стороны. При этом оптимизационные процедуры должны осуществляться как минимум на трех иерархических уровнях, например, в заготовительном переделе:

- при выборе вида заготовительной технологии для каждой классификационной группы модулей (аддитивные технологии, литье, обработка давлением, сварка, механическая обработка, комбинированные виды и др.);
- при выборе конкретного технологического способа внутри выбранного вида заготовительной технологии (например, для литья – выбор способа литья и т.д.);
- при назначении параметров и режимов конкретного технологического способа.

Учитывая бурное развитие электроники и электротехники, одним из самых перспективных инженерных направлений в мире, по данным ЮНЕСКО, является мехатроника. Особо отмечается ее роль в развитии станкостроения, в частности, в станках с ЧПУ, приводимых в качестве примера использования мехатронных узлов. Однако, несмотря на то что классическое определение мехатроники как области науки и техники, основанной на синергетическом объединении узлов точной механики с электронными, электротехническими и компьютерными компонентами, обеспечивающими проектирование и производство качественно новых механизмов, машин и систем с интеллектуальным управлением их функциональными движениями, подразумевает новое развитие в построении и механической части, этому вопросу уделяется недостаточно внимания. К первой части термина «мехатроника» – «меха...» – сложилось какое-то

второстепенное отношение, хотя, наверное, роль механического исполнительного механизма играет в этой системе далеко не последнюю роль. Возрастающая стоимость механической части, вызванная резким увеличением стоимости энергозатрат, заставит проектировщиков нового оборудования уделить особое внимание созданию многофункциональных модулей, в том числе и мехатронных, на основе унифицированных литых заготовок и модульных базовых деталей с учетом описанных выше концепций. По своему влиянию на реорганизацию производства этот процесс можно сравнить с переходом на производство автомобилей конвейерным методом. Сугубо экономические предпосылки очередной раз в истории техники спровоцируют новый виток технологического развития. В качестве примера рассмотрим затраты в литейном производстве.

Производство станков, особенно тяжелых, связано с большими сложностями, с большими материальными, энергетическими, трудовыми и временными затратами. (рис. 1, 2)

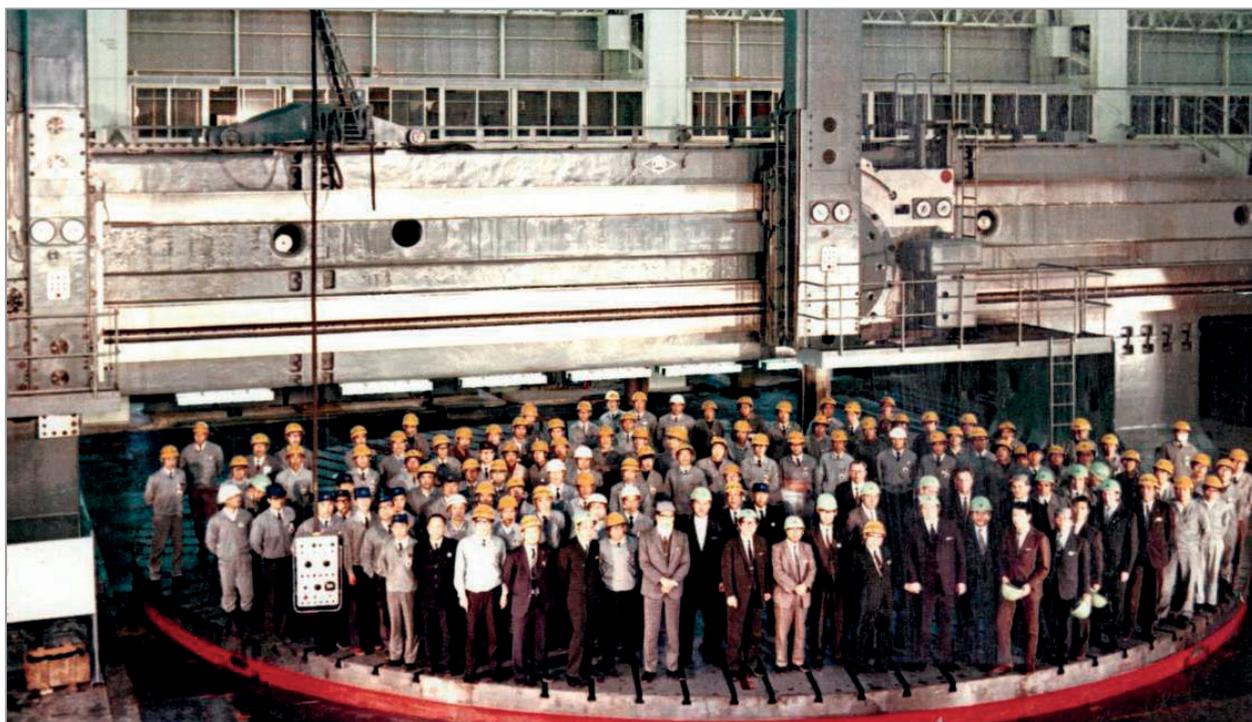


Рис. 1. Карусельный станок, диаметр план-шайбы 22 м



Рис. 2. Горизонтально расточной станок, длина 49 м

Оставим за скобками время (затраты) для разработки конструкторской документации на станок (например, 2А 622). Приведем ориентировочно временные и материальные затраты на базовые отливки. Для примера возьмем станину (рис. 3) (черная масса комплекта отливок для станка – 22 т, 170 наименований литых деталей, в том числе станина массой 6 т, размер 5 x 1,8 м).

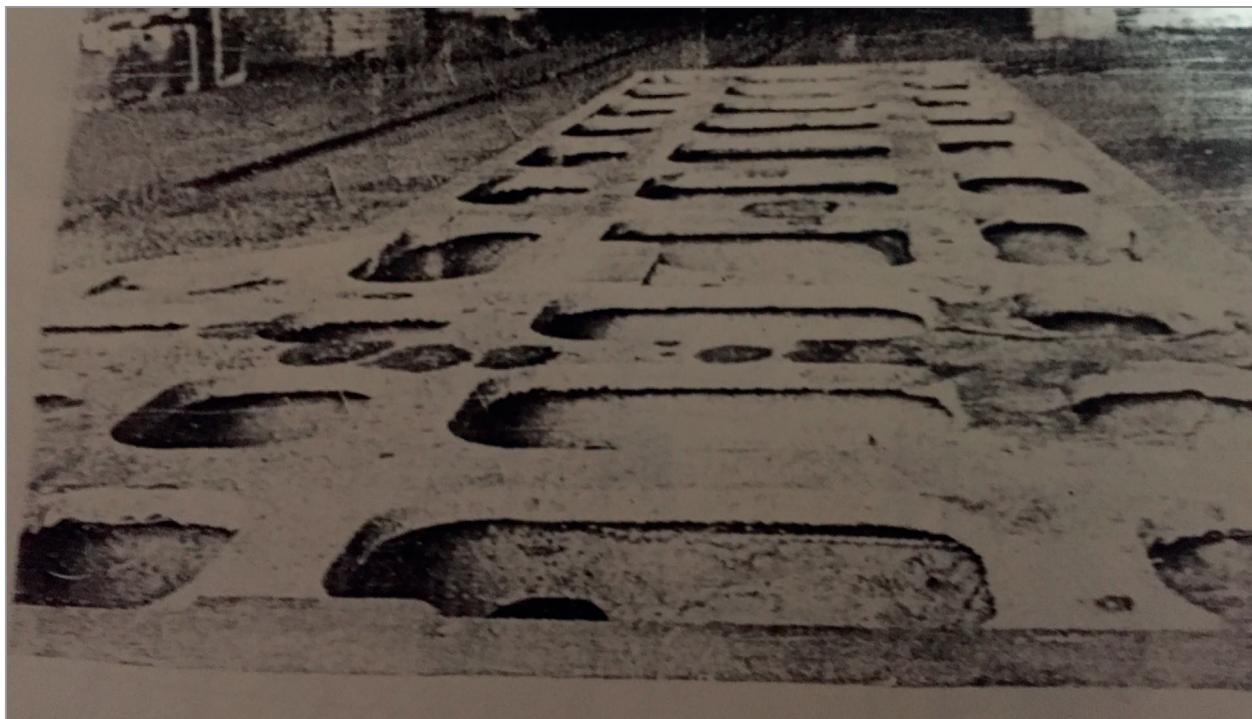


Рис. 3. Станина 2А622.111135

Затраты времени и себестоимость станка начинаются с разработки литейно-модельной технологии. Этой операцией обычно занимаются технологи и конструкторы отдела главного металлурга завода. Технологи специализируются по группам и назначению отливок – бюро крупного, среднего, мелкого и спецвидов литья (на заводах Главтяжстанкопрома обычно было 17–20 чел.) и на соответствующих участках в цехах еще 6–8 технологов, которые осуществляли технологический надзор и контроль формовочно- сборочных процессов плавки и заливки.

Процесс разработки литейно- модельной технологии занимал 1,5–2,0 мес. Документация по мере готовности передавалась в модельный цех (при условии, что модельный цех находился в структуре завода). С момента разработки технологии и до окончания изготовления всех модельных комплектов (полной численностью технологов и модельщиков) затрачивалось 6–8 мес. Это 1-й этап затрат [8].

2-й этап затрат – это лесоматериалы (110 куб.м) и сопутствующие затраты на сушку пиломатериалов, гвозди, пилоабразивные полотна, клей, краску и другие метизы, затраты на логистику не менее двух рабочих смен при условии нахождения модельного цеха на одной территории с литейным цехом.

3-й этап затрат – изготовление форм и стержней (рис. 4).

Остановимся на аспектах изготовления крупного литья, так как речь идет о его убыточности и необходимости перехода на модульное производство базовых деталей.

Для изготовления комплекта стержней (36 шт.) на станину требуется 60 кв.м. Бригада из пяти человек затрачивает на изготовление, окраску, сушку и комплектацию до 3 сут. Форму изготавливает бригада из трех человек в течение 2 сут, для чего требуется 12 кв. м для формы и 20 кв. м для стержней перед сборкой. Необходимо отметить, что бригаду формовщиков обслуживает мостовой кран в течение 70–75 % от времени на изготовление и сборку формы. После заливки отливка выдерживается двое суток в почвенной форме. Затем передается на обрубной участок для проведения финишных операций. Таким образом, общий цикл 3-го этапа составляет до 8 сут. При этом в производстве наблюдается брак и в литейном цехе, и в механическом, что ведет к значительному увеличению себестоимости и непредвиденному увеличению срока изготовления конечной продукции. Это пример затрат времени (финансов) при производстве средней по массе станины. А если базовая отливка 30–50 т? Затраты возрастают практически в геометрической прогрессии.

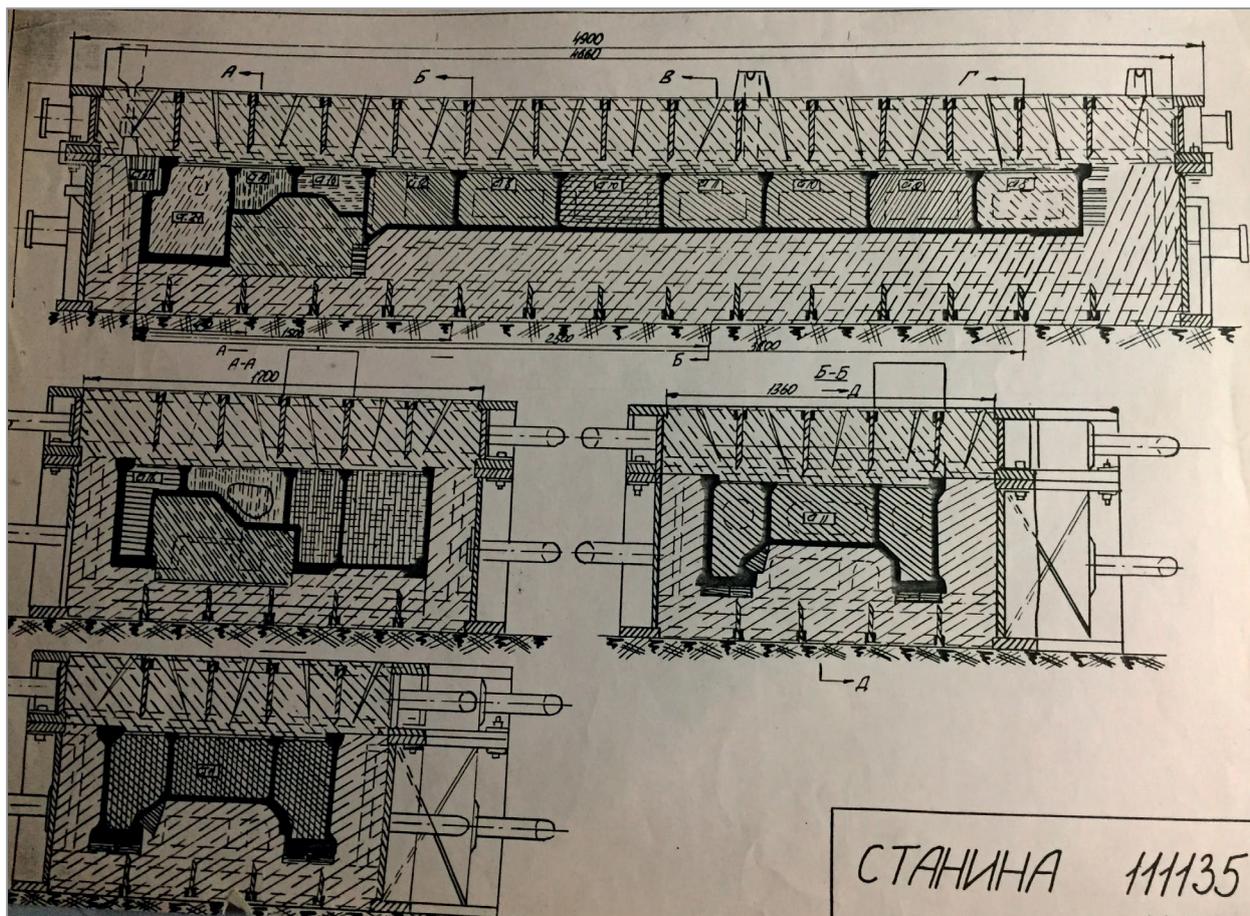


Рис. 4. Форма станины в сборе

Учитывая все изложенное, предлагается новый подход к системе проектирования и создания механообрабатывающего оборудования (МОО) – мехатроника, унификация литых заготовок для базовых деталей (УнД), модульные конструкции базовых деталей. Концепция производства модульного крупного МОО из унифицированных литых заготовок (по экспертной оценке) призвана удешевить на порядок себестоимость литья для базовых деталей и пропорционально сократить потребность в производственных площадях, основных и вспомогательных материалах и трудовых затратах. Производство УнД позволяет механизировать и автоматизировать процесс формообразования станочного литья, отказаться от трудоемкой ручной формовки, стержней, холодильников, жеребеек (на ЛСПО им. Свердлова расходовалось 15 млн. шт. в год). Производство УнД на автоматических формовочных линиях (АФЛ) с применением песчано-глинистых смесей, ВПФ (вакуумно-пленочная формовка), ЛГМ-процесса (литье по газифицируемым моделям) и установках непрерывного литья – это высокая производительность, наименьший передел сырья, весьма ощутимое энергосбережение и значительное сокращение рабочей силы. Это позволит эффективнее организовать процесс создания стоимости за счет использования новых технологий с гарантией выполнения повышенных требований соответствия продукции новым возможностям, обеспечит значительное повышение рыночной привлекательности и конкурентоспособности станков.

Унификация литых заготовок для базовых деталей станков – основа развития мехатронного модульного станкостроения – это область науки и техники, основанная на синергетическом объединении узлов точной механики с электротехническими и компьютерными компонентами, обеспечивающими проектирование и производство качественно новых механизмов машин и систем с интеллектуальным управлением их функциональным движением. Основной целью мехатроники как научно-технической дисциплины является разработка принципиально новых функциональных узлов, блоков и модулей, реализующих двигательные функции, которые используются как основа для подвижных интеллектуальных машин и систем, что и соответствует всем вышеизложенным критериям быстрореагирующих бережливых производств. Это предпосылки к 5-й технической революции. И первый шаг в этом направлении надо уверенно сделать именно нашим станкостроителям. «Даже путь в 1000 ли начинается с первого шага» (Лао-Цзы).

## ЛИТЕРАТУРА

1. **Амин Ротт.** Индустрия 4,0 – пустая шумиха или революция? // Мир станкостроения. М.: Техносфера, 2020.
2. **Ткаченко С. С., Емельянов В. О., Мартынов К. В.** Обоснование необходимости модульного производства базовых деталей станков // Металлургия машиностроения. 2019. № 2.
3. **Ткаченко С. С., Емельянов В. О., Мартынов К. В., Янтовский А. В.** Композиционные материалы – надежная основа модульного станкостроения // Станкоинструмент. 2021. № 3.
4. **Джеймс П. Вумек, Дэниел Т. Джонс.** Бережливое производство: Как избавиться от потерь и добиться процветания вашей компании. М.: Альпина Бизнес Букс, 2005. 473 с.
5. **Сури, Р.** Время – деньги. Конкурентное преимущество быстрореагирующего производства. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2015. 326 с.
6. **Хакен, Г.** Тайны природы. Синергетика: учение о взаимодействии. М.: Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2003. 320 с.
7. **Кузнецов, Б. Л.** Синергетический менеджмент в машиностроении: Учеб. пособ. Набережные Челны: Изд-во Камского гос. политехн. ин-та, 2003. 400 с.
8. **Ткаченко С. С., Емельянов В. О., Мартынов К. В., Янтовский А. В.** Композиционные материалы – надежная основа модульного станкостроения // Станкоинструмент. 2021. № 3.

## REFERENCES

1. **Amin Rott.** Industrija 4,0 – pustaja shumiha ili revoljucija? [Industry 4.0 – hype or revolution?]. *Mir stankostroenija = Machine tool world*. Moscow, Tehnosfera Publ., 2020.
2. **Tkachenko S. S., Emel'janov V. O., Martynov K. V.** Obosnovanie neobhodimosti modul'nogo proizvodstva bazovyh detalej stankov [Justification of the need for modular production of basic parts of machine tools]. *Metallurgija mashinostroenija = Metallurgy engineering*, 2019, no. 2.
3. **Tkachenko S. S., Emel'janov V. O., Martynov K. V., Jantovskij A. V.** Kompozicionnye materialy – nadjozhnaja osnova modul'nogo stankostroenija [Composite materials are a reliable basis for modular machine tool building]. *Stankoinstrument = Machine tools*, 2021, no. 3.
4. **Dzhejms P. Vumek, Djeniel T. Dzhons.** *Berezhlivoe proizvodstvo: Kak izbavit'sja ot poter' i dobit'sja procvetanija vashej kompanii* [Lean Manufacturing: How to get rid of waste and make your company prosper]. Moscow, Al'pina Biznes Buks Publ., 2005, 473 p.
5. **Suri R.** *Vremja – den'gi. Konkurentnoe preimushhestvo bystroreagirujushhego proizvodstva* [Time is money. Competitive advantage of agile manufacturing]. Moscow, BINOM. Laboratorija znaniy Publ., 2015, 326 p.
6. **Haken G.** *Tajny prirody. Sinergetika: uchenie o vzaimodejstvii* [Secrets of nature. Synergetics: the doctrine of interaction]. Izhevsk, Institut komp'yuternyh issledovanij Publ., 2003, 320 p.
7. **Kuznecov B. L.** *Sinergeticheskij menedzhment v mashinostroenii* [Synergetic management in mechanical engineering]. Naberezhnye Chelny, Izdatel'stvo Kamskogo gosudarstvennogo politehnicheskogo Instituta Publ., 2003, 400 p.
8. **Tkachenko S. S., Emel'janov V. O., Martynov K. V., Jantovskij A. V.** Kompozicionnye materialy – nadjozhnaja osnova modul'nogo stankostroenija [Composite materials are a reliable basis for modular machine tool building]. *Stankoinstrument = Machine tools*, 2021, no. 3.