



<https://doi.org/10.21122/1683-6065-2022-2-9-14>
УДК 621.74

Поступила 14.04.2022
Received 14.04.2022

НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ ИЗГОТОВЛЕНИЯ БАЗОВЫХ ДЕТАЛЕЙ СТАНКОВ ИЗ МОДУЛЬНЫХ УНИФИЦИРОВАННЫХ ОТЛИВОК

С. С. ТКАЧЕНКО, Филиал РАХ «Творческая Мастерская «Литейный Двор»,
г. Санкт-Петербург, Россия, Расстанный проезд, 1. E-mail: spblenal@mail.ru

А. В. ЯНТОВСКИЙ, ООО «ТЕХНОСТАНКО 21», г. Москва, Россия

В. О. ЕМЕЛЬЯНОВ, К. В. МАРТЫНОВ, Филиал РАХ «Творческая Мастерская «Литейный Двор»,
г. Санкт-Петербург, Россия, Расстанный проезд, 1.

Изготовление цельнолитых базовых деталей станков весьма трудоемко и экономически не выгодно. Предлагается корпусные детали декомпозировать на простые плоские элементы, унифицировать их с возможностью использования при изготовлении родственных по назначению станков, выполняющих различные функции. Рассмотрены проблемы интеграции станкостроения в цифровую экономику в условиях развивающейся «Индустрии 4,0». Показаны возможности автоматизации и роботизации изготовления унифицированных литых заготовок для модульной сборки базовых деталей станков.

Ключевые слова. Литейное производство, базовые детали, унифицированные отливки, Индустрия 4,0, автоматизация и роботизация производства отливок.

Для цитирования. Ткаченко, С. С. Некоторые аспекты изготовления базовых деталей станков из модульных унифицированных отливок / С. С. Ткаченко, А. В. Янтовский, В. О. Емельянов, К. В. Мартынов // Литье и металлургия. 2022. № 2. С. 9–14. <https://doi.org/10.21122/1683-6065-2022-2-9-14>.

SOME ASPECTS OF MANUFACTURING BASIC MACHINE PARTS FROM MODULAR UNIFIED CASTINGS

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

A. V. YANTOVSKY, LLC “TEHNOSTANKO 21”, Moscow, Russia

V. O. EMELIANOV, K. V. MARTYNOV, Branch of the Russian Academy of Arts “CREATIVE WORKSHOP
“FOUNDRY YARD”, Saint Petersburg, Russia, 1, Rasstanny proezd.

The production of solid-cast basic machine parts is very time-consuming and economically unprofitable. It is proposed to decompose the case-shaped parts into simple flat elements, unify them with the possibility of using them in the manufacture of related machines that perform various functions. The problems of integrating machine tool construction into the digital economy in the conditions of the developing “Industry 4.0” are considered. The possibilities of production automation and robotization of unified cast blanks for modular assembly of basic machine parts are shown.

Keywords. Foundry production, basic parts, unified castings, Industry 4.0, castings production automation and robotization.

For citation. Tkachenko S. S., Yantovsky A. V., Emelyanov V. O., Martynov K. V. Some aspects of manufacturing basic machine parts from modular unified castings. Foundry production and metallurgy, 2022, no. 2, pp. 9–14. <https://doi.org/10.21122/1683-6065-2022-2-9-14>.

«Целью всей деятельности интеллекта
является превращение некоторого чуда
в нечто постигаемое»

А. Эйнштейн

Глобализация последних десятилетий и связанные с ней изменения в производственной сфере существенно отразились на промышленных предприятиях. Успехов добились те, кто сменил классическую стратегию производства движением в сторону Индустрии 4,0. Предприятиям, сумевшим изменить подход к производству и реализовать парадигмы Индустрии 4,0, открываются колоссальные возможности экономии материальных ресурсов и повышения эффективности производства, а также сокращения до

70% расходов, связанных со сложностью производственных процессов. Термин «Индустрия 4,0», означающий стратегическую инициативу цифровой трансформации производственной отрасли, стал достаточно модным и распространенным [1], потому что целью этой концепции является значительное увеличение гибкости производства, рациональное ценообразование и индивидуализация продукции. На это, в первую очередь, необходимо обратить внимание станкостроителям. «Мы не задаем более вопроса об «истинности» какой-нибудь теории, а спрашиваем лишь, насколько полезна теория, и какие результаты можно получить с ее помощью» [2]. В настоящее время отечественное станкостроение сталкивается с двумя крупными проблемами: эволюцией развития, связанной с планомерным повышением эксплуатационных требований и усложнением конструкций всех моделей металлообрабатывающего (МОО) и кузнечно-прессового (КПО) оборудования, и политически-технологическим давлением мировых производителей как оборудования, так и комплектующих изделий. В течение последних 25–30 лет сложность машиностроительной продукции возросла в 4–6 раз, а требования по технико-эксплуатационным характеристикам и физико-механическим свойствам – на порядок. В то же время отечественное станкостроение за тот же период времени существенно деградировало, а потребитель оборудования перешел на повсеместное импортное потребление. Учитывая сегодняшнее состояние отрасли и отечественного станочного парка, трудно говорить о возможном быстром прорыве в этой области без принятия нестандартных конструкторских и технологических решений.

«Если технологии и общество быстро развиваются, а предприятия не в состоянии адаптироваться к новым условиям, то, по теории вероятности, это приводит к исчезновению определенных типов компаний» [1].

Одним из возможных направлений технологического прорыва может являться инновация в литейном производстве, являющимся основной заготовительной базой станкостроения, развитие которого определяет и уровень машиностроительного комплекса в целом. Практически ежегодно (постоянно) растут требования потребителей относительно повышения физико-механических характеристик, геометрической точности, чистоты поверхности и снижения массы отливок. По сравнению с другими заготовительными производствами (ковка, сварка) литейное производство отличается высоким коэффициентом использования металла (КИМ), который составляет от 75 до 98% и обеспечивает получение сложных по геометрии и конфигурации литых заготовок с внутренними полостями, что практически невозможно выполнить методамиковки и сварки, тем более если заготовки чугунные. Поэтому литейное производство и в дальнейшем сохранит свое лидирующее положение среди заготовительных производств в проектах развития машиностроения. В этом векторе литейное производство занимает первостепенное значение в существовании национального станкостроения на уровне мировых стандартов. Чугунные литые заготовки (отливки) в структуре любой модели металлорежущего станка составляют до 85% его общей массы. Для примера – общая металлоемкость расточного станка 2А 622 составляет 22 т, а доля чугунных отливок – 18 т, т.е. около 81%. Всего в станке 164 наименования литых заготовок. Но особое место при производстве станков занимают процессы изготовления базовых отливок и готовых деталей из них. Всего в тяжелых станках 6–8 базовых деталей, но они составляют до 90% массы станка. От них в большей степени зависят себестоимость, цикл изготовления, надежность и долговечность эксплуатации станка без потери гарантированных точностных параметров. Повышенные требования к данным отливкам определены ОСТ2-МТ21-2-90, где регламентируются параметры по геометрической точности, чистоте поверхности, шероховатости и особое внимание уделено качеству направляющих по микроструктуре, твердости и химическому составу. Эти параметры главным образом и влияют на долговременное гарантированное сохранение точностных характеристик станка при механической обработке литых и кованных заготовок для изготовления ответственных изделий. Но помимо их существуют и элементы человеческого фактора, определяющие качество итогового изделия. В стране практически не осталось станкостроительных заводов, способных изготавливать инновационные тяжелые станки, не осталось литейных производств, способных изготавливать базовые чугунные отливки массой от 10 т и более. Существующие литейные производства общего машиностроения не имеют обученных кадров и опыта производства сложных чугунных отливок для станкостроения. Существуют и большие сложности с проектированием.

Известно множество экспериментов по повышению качества литья и снижению его стоимости. Учитывая, что идеальным материалом для МОО является серый чугун, обладающий комплексом положительных физико-химических и эксплуатационных свойств (литейные, триботехнические и повышенная демпфирующая способность), конструктор для выполнения гарантированных точностных параметров при эксплуатации станка выбирает чугун марки СЧ25 и повышает твердость направляющих

до 200–220НВ, что можно выполнить применением высоколегированных чугунов, но это значительно снижает демпфирующую способность изделий (исследования «Экспериментального научно-исследовательского института металлорежущих станков» ЭНИИМС, Москва), вводит большое количество ребер для увеличения жесткости и прочности. Но высокая твердость легированных чугунов и демпфирующая способность не совместимы [3]. Для выполнения технических требований к базовым деталям некоторые передовые заводы применяли очень трудоемкий и дорогостоящий процесс двуслойной заливки: 1) когда направляющие (нижняя часть формы) заливаются высоколегированным чугуном с низким углеродным эквивалентом (3,5–3,6), а корпусная часть обладает хорошей демпфирующей способностью; 2) чугуном с высоким углеродным эквивалентом – (4,1–4,3). Известно, что конструктивные ужесточения требований к базовым деталям приводят к ряду технологических сложностей в процессе изготовления крупных отливок и при их эксплуатации. Сложности начинаются с момента разработки литейно-модельной технологии даже в лучшие времена, когда на каждом станкозаводе имелся штат опытных технологов-литейщиков, а сейчас это еще большая проблема. Следующая сложность – трудоемкость и материалоемкость изготовления модельных комплектов. Только для изготовления модельных комплектов для базовых отливок указанного станка требуется 75 куб. м высококачественных сухих пиломатериалов, а срок изготовления модельной оснастки при наличии опытных модельщиков составлял не менее 6 мес. В настоящее время при остром дефиците квалифицированных модельщиков этот процесс займет значительно больше времени (в 3 раза). Следующая проблема – сложность формообразования: изготовление большого количества стержней и сборка форм. Отсюда «вечная» проблема литейщиков – снижение трудоемкости и повышение качества. Технология формообразования с массивной верхней полуформой, при которой наблюдались частые «уходы металла по разьему» и повышенные заливы (рис. 1), сменилась на перекрытие формы крупными стержнями из ЖСС (из жидких самотвердеющих смесей) [4]. В результате внедрения новой технологии повысилась размерная точность отливок, сократился расход металла, ликвидирован парк опок и потребность в сушке громоздких полуформ, сократилась трудоемкость обрубных работ. Схема собранной формы станины станка 2А622 показана на рис. 2, но и в этом случае трудоемкость остается нежелательно высокой.

В эту форму устанавливается 36 стержней массой 200 кг и 20 мелких стержней массой до 15 кг. Сборку осуществляет опытный формовщик с использованием мостового крана и при наличии сборочного чертежа, где указываются база начала сборки, порядок установки стержней, холодильников, жербеков и другие моменты, затем заливка, выдержка в форме, извлечение из формы, охлаждение, обрубка, термообработка и передача на механическую обработку. Цикл изготовления такой отливки занимает до 12 сут. Это отливка массой всего 6 т. А если отливка 30 т? Она должна по регламенту охлаждаться

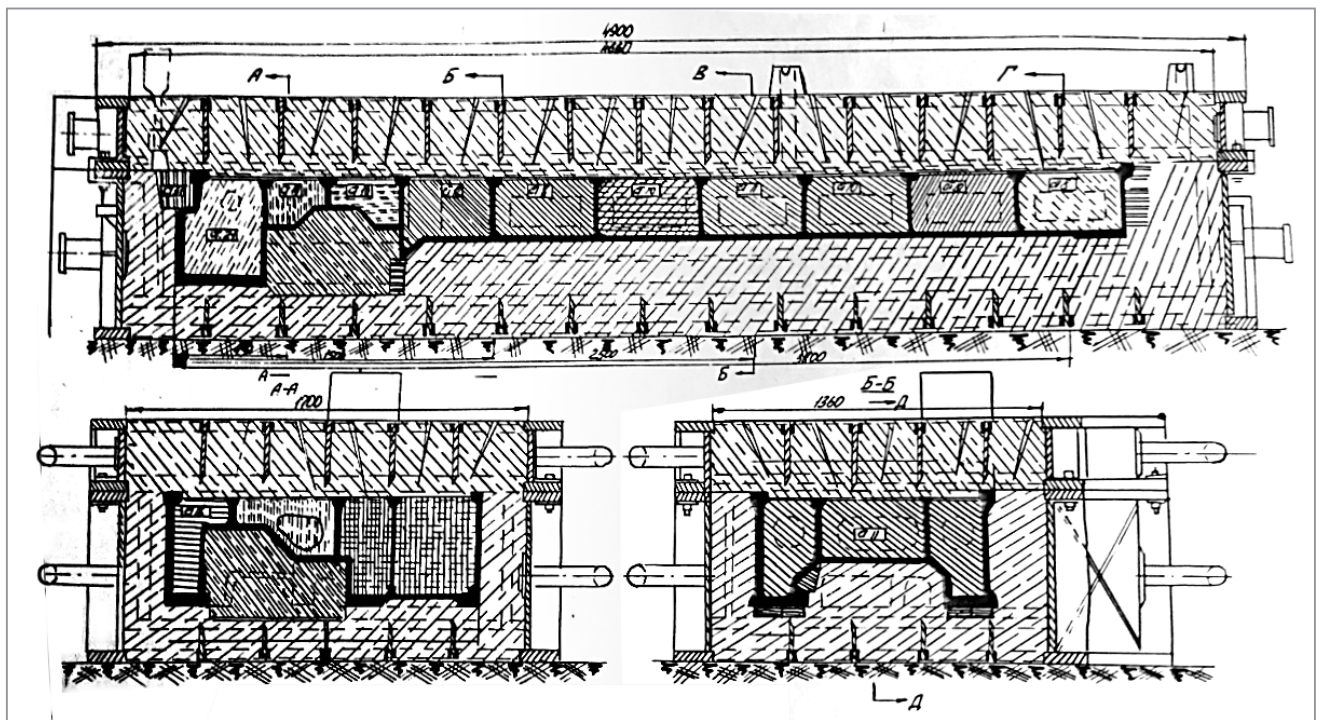


Рис. 1. Схема сборки формы станины расточного станка с верхней опокой

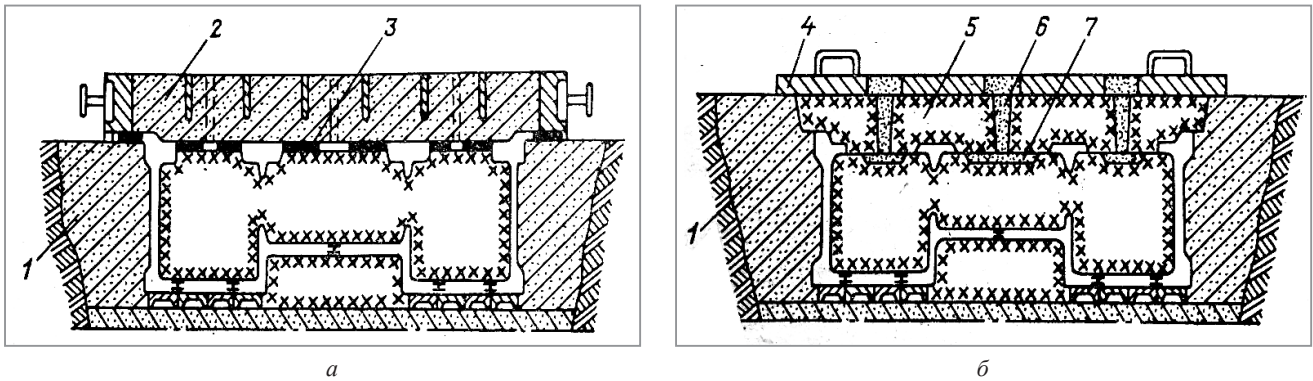


Рис. 2. Технология изготовления крупных форм: а – старая технология; б – новая технология;
1 – нижние почвенные полуформы; 2 – верхняя полуформа; 3 – прокладочная глина; 4 – пригрузочная плита;
5 – стержень, заменяющий верхнюю опочную полуформу; б – вентиляционные стояки; 7 – песчаные заглушки

в форме 10 сут при температуре воздуха в цехе не ниже 16 °С. Цикл изготовления увеличивается, съем с 1 м² уменьшается, рабочие площади используются не эффективно и себестоимость увеличивается. Кроме того, введение ребер в корпусные отливки для повышения жесткости приводит к усложнению литой заготовки, возникновению внутренних напряжений из-за разности толщин в местах сопряжения их с толстыми направляющими и основными стенками, что приводит к различной величине коробления [5] (в лучшем случае его удастся устранить за счет повышенных припусков или заданного обратного прогиба), трещинам и даже к полному разрушению (рис. 3). Исследованиями ЭНИИМС и практическим опытом станкозаводов еще раз подтверждается правило, используемое в основном в вычислительной технике, которое гласит, что увеличение числа регулируемых компонентов не всегда приводит к повышению качества итогового изделия, а зачастую наоборот.

Многолетний производственный опыт, статистический и экономический анализы производства крупных станочных отливок (базовых) показывают, что их изготовление влечет к резкому удорожанию металлообрабатывающего оборудования (МОО) и делает его неконкурентоспособным. Необходим новый, не традиционный подход к концепции создания МОО и КПО в виде инновационного металлообрабатывающего оборудования легко создаваемого и быстро переориентируемого на другой профиль мехобработки. Настало время пересмотреть конструкции и технологии создания традиционных базовых деталей станков. На смену традиционной технологии использования цельнолитых чугунных корпусных отливок для станкостроения закономерно в ближайшее время должна прийти технология изготовления их из простых унифицированных литых заготовок [6] (рис. 4).

Из-за большого количества факторов риска, изложенных выше, ясно, что вероятность получения качественной заготовки обратно пропорциональна ее размеру, а устранение элементов брака требует существенных материальных затрат вплоть до изготовления новой заготовки. Достаточно усложнено и тестирование изделия на наличие конструкторских, технологических и производственных ошибок,



Рис. 3. Трещина в отливке «станина», возникшая в месте сопряжения ребра жесткости с конструктивным приливом

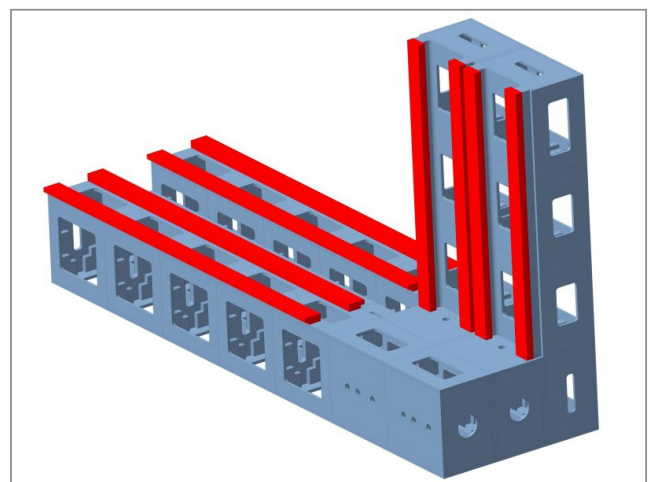


Рис. 4. Схема расточного станка из унифицированных литых заготовок (стойка повернута для наглядности)

особенно при единичном и мелкосерийном производстве. Если обозначить возможно допустимую площадь наличия различного вида погрешностей как $T1$, а площадь тестируемой поверхности $T2$, то можно определить коэффициент вероятности обнаружения погрешности $p(T)$ по формуле:

$$p(T) = T1 / T2.$$

Если $T1 = T2$, т. е. площадь тестирования совпадает с общей площадью изделия, вероятность обнаружения погрешности равна 1, другими словами, погрешность будет, безусловно, обнаружена. Чем меньше площадь тестируемой поверхности относительно общего объема изделия, тем больше вероятность различных отклонений от заданных параметров, что очевидно. Учитывая, что на качество конечной продукции влияет множество факторов, описанных выше, не трудно представить трудоемкость проведения комплексного тестирования. Особенно трудоемким является тестирование единичной продукции. Ослабление тестового контроля зачастую приводит к скрытым дефектам, проявляющимся в процессе эксплуатации МОО и КПО.

Предлагаемый метод декомпозиции цельнолитых чугуновых корпусных отливок даст возможность перейти к технологии изготовления их из простых унифицированных литых заготовок (УнЛЗ) [7], которые возможно изготавливать в массовом количестве на механизированных и автоматических формовочных линиях. Это линии ЛГМ, Сейатсу или ВПФ-процесса, непрерывного литья для направляющих как наиболее экологически чистые и менее материалоемкие. Концепция производства крупных «модульных» станков на базе модульных базовых деталей выгодно отличается от «вековой» традиции изготовления крупных цельнолитых базовых отливок.

В этом случае у станкостроителей появляются возможности по снижению массы металлообрабатывающих агрегатов, трудовых затрат и естественно значительного сокращения сроков изготовления новых станков. Но самое главное – это резкое повышение качества изделий при их массовом производстве за счет отработки конструкторских решений при начале массового производства, подготовка и создание универсальных тестовых приспособлений и методик, позволяющих перейти от индивидуального тестирования к выборочному и существенному снижению трудоемкости и материалоемкости изготовления модельных комплектов. Все это скажется на себестоимости изделий, так как при C – себестоимости единицы товара; O – общей себестоимости произведенных товаров и K – общем количестве произведенных товаров итоговая себестоимость единичного товара рассчитывается по формуле

$$C = O / K.$$

По экспертным данным, «Концепция» призвана сократить сроки изготовления станков и их себестоимость в 3–4 раза. Приняв концепцию «модульного станкостроения», возможно разработать перечень унифицированных деталей (УнД) для базы станков родственного профиля (расточные, продольно-фрезерные, строгальные и т. п.). Наличие дешевых заготовок позволяет в полной мере реализовать концепцию «оборудование как расходный материал». Проектирование и изготовление станков на основе УнД существенно отличается от традиционных технических требований и производственных условий. Проект может быть реализован под отдельную деталь с последующим использованием УнД для композиции другого станка под другую деталь, а процесс самого проектирования может быть полностью компьютеризирован.

Следовательно, для ускоренного процесса восстановления станкостроительной отрасли, хотя бы в области литейного производства, необходимо смелее переходить к системной разработке конструкций модульных базовых деталей из унифицированных литых чугуновых заготовок из композиционных материалов (КМ) для «модульных станков будущего». «Любое целое всегда состоит из частей, обладает адекватным структуре целого функционированием и проявляет себя как целое при практических действиях, в первую очередь, по успешной реализации целенаправленных действий» [8]. С этой целью достаточно произвести декомпозицию сложных деталей (станин, стоек, шпиндельных бабок и т. п.) на элементы простой конфигурации с меньшей массой. Современная теоретическая, экспериментальная и производственные базы позволяют разрабатывать и изготавливать любые конструкции и детали из армированных (КМ) с металлической, полимерной или керамической матрицей, что подтверждается растущим объемом применения композитов в мире.

Переходя в дальнейшем к композиции МОО и КПО на основе мехатронных узлов и модульных базовых деталей, возможно ускоренное развитие как самой отрасли, так и модернизация всего станочного парка страны.

ЛИТЕРАТУРА

1. Мерц С.Л., Рот А. Индустрия 4,0 – модель внедрения // Сер. Мир станкостроения. М.: Техносфера, 2020.
2. Эйнштейн А. Собрание сочинений. М. Т. 4. 1967.
3. Пивоварский Е. Высококачественный чугуны. М.: Metallurgija, 1965. Т. 1. С. 518–521.
4. Ткаченко С.С., Жучков В.П., Гуляев Б.Б. Повышение точности крупных отливок // Литейное производство. 1969. № 6.
5. Коцюбинский О.Ю. Стабилизация размеров чугунных отливок. М.: Машиностроение. 1974.
6. Ткаченко С.С., Емельянов В.О., Мартынов К.В. Современные основы изготовления металлорежущих станков из унифицированных литых заготовок // Тр. 26-й Междунар. науч.-техн. конф. «Литейное производство и металлургия 2018. Беларусь». Минск, 2018.
7. Ткаченко С.С., Емельянов В.О., Мартынов К.В., Янговский А.В. Композиционные материалы – надежная основа модульного станкостроения // Станкоинструмент. 2021. № 3.
8. Аванесов В.А., Романов А.Д., Стапч А.Х. Введение в теорию успеха. Санкт-Петербург: Изд-во Политехн. ун-та, 2008.

REFERENCES

1. Merc S.L., Rot A. *Industrija 4,0 – model'vnedrenija* [Industry 4.0 – implementation model]. Moscow, Tehnosfera Publ., 2020.
2. Jejnshjtejn A. *Sobranie sochinenij* [Collected Works]. Moscow, 1967, vol. 4.
3. Pivovarskij E. *Vysokokachestvennyj chugun* [High quality cast iron]. Moscow, Metallurgija Publ., 1965, vol. 1, pp. 518–521.
4. Tkachenko S.S., Zhuchkov V.P., Guljaev B.B. Povyshenie tochnosti krupnyh otlivok [Improving the accuracy of large castings]. *Litejnoe proizvodstvo = Foundry*, 1969, no. 6.
5. Kocjubinskij O. Ju. *Stabilizacija razmerov chugunnyh otlivok* [Dimensional stabilization of cast iron castings]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1974.
6. Tkachenko S.S., Emel'janov V.O., Martynov K.V. Sovremennye osnovy izgotovlenija metallovezhushhih stankov iz unificirovannyh lityh zagotovok [Modern fundamentals for manufacturing metal-cutting equipment using unified castings]. *Trudy 26-j Mezhdunarodnoj nauchno-tehnicheskoy konferencii «Litejnoe proizvodstvo i metallurgija 2018. Belarus' = Proceedings of the 26th International Scientific and Technical Conference "Foundry production and metallurgy 2018. Belarus"». Minsk, 2018.*
7. 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.
8. Avanesov V.A., Romanov A.D., Stapch A.H. *Vvedenie v teoriju uspeha* [Introduction to the theory of success]. Sankt-Peterburg, Izdatel'stvo Politehnicheskogo universiteta Publ., 2008.