

ИНЖЕНЕР- МЕХАНИК

№ 3 (60)
июль – сентябрь
2013

Республиканский межотраслевой производственно-практический журнал
Издается с июля 1998 года
Выходит один раз в три месяца

Учредитель — Белорусское общество инженеров-механиков

Главный редактор академик С.А. Астапчик

Редакционная коллегия: М.А. Андреев, В.Н. Дашков, А.М. Захарик, А.Б. Зуев, В.Л. Колпащиков, Л.Н. Крупец, Д.И. Корольков, Г.С. Лягушев, Е.И. Медвецкий, М.Г. Мелешко, С.А. Чижик

Адрес редакции:

220141, Минск, ул. Купревича, 10 (ранее Жодинская, 4)
тел./ факс 203-88-80; 226-73-36
E-mail: mail@boim.by
Свидетельство о регистрации № 1132 от 21.04.1998

Подписной индекс 00139

Компьютерная верстка Н.В. Райченко

Подписано в печать 25.09.2013.
Формат 60×84/8. Бумага офсетная.
Гарнитура «Таймс». Печать офсетная.
Усл. печ. л. 5,6. Уч.-изд. л. 4,7.
Тираж 250 экз. Заказ №
Цена номера договорная.

Отпечатано с оригинал-макета заказчика в ГНУ «Физико-техническом институте НАН Беларуси». Лицензия ЛП № 02330/0494176 от 3.04.2009 г. 220141, г. Минск, ул. Купревича, 10.

СОДЕРЖАНИЕ

Разработки ученых и специалистов

- Поверхностное и объемное упрочнение деталей машиностроения из железоуглеродистых и алюминиевых сплавов, их структурный анализ и улучшение механических характеристик.....2
- Снегоутилизационные форсированные установки.....14
- Метод подращивания при монтаже металлоконструкций киевской телебашни.....17
- Подводные нити.....25
- Новый способ повышения эффективности работы эжекционных градирен.....30

Будет интересно

- Республиканское унитарное производственное предприятие «Гранит».....34
- Иллюзорные миры Андрея Сахарова, Эдварда Теллера и Клауса Фукса.....37

Из истории авиации

- Эмиграция (часть четвертая, продолжение).....44

УДК 620.22

ПОВЕРХНОСТНОЕ И ОБЪЕМНОЕ УПРОЧНЕНИЕ ДЕТАЛЕЙ МАШИНОСТРОЕНИЯ ИЗ ЖЕЛЕЗОУГЛЕРОДИСТЫХ И АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ, ИХ СТРУКТУРНЫЙ АНАЛИЗ И УЛУЧШЕНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК

*А.А. Дюжев, А.А. Шипко, С.П. Руденко, А.И. Комаров,
А.В. Толстой, С.Г. Сандомирский, В.Е. Антонюк*

В прошлом году исполнилось 55 лет со дня основания нашего института. Сегодня в Государственном научном учреждении «Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси» работает более 300 человек. Это самый крупный центр машиноведения страны, обладающий разносторонним научным потенциалом, развивающий востребованные промышленностью научные направления, тесно работающий в партнерстве с институтами и промышленными предприятиями. Здесь развиваются теория надежности технических систем, методы прогнозирования ресурса конструкций и вибродиагностирования элементов трансмиссий, технологии упрочнения и создания новых конструкционных материалов; компьютерные технологии виртуального проектирования, дизайна и испытаний машин; совместно с ОАО «БелАЗ» развиваются принципы и методологические основы создания карьерных самосвалов, действует и созданный Институтом Республиканский полигон для испытаний мобильных машин. Перспективы развития Объединенного института машиностроения мы связываем с дальнейшим развитием востребованных научных школ, улучшением и совершенствованием координации работ с академическими институтами родственного профиля, достижения на новом уровне партнерства с отечественными и зарубежными предприятиями, созданием собственной стендовой базы

и энергоэффективных производств, увеличение эффективности патентно-лицензионной работы, развитием нормативно-правовой базы при создании наукоемкой научно-технической продукции.

Для начала знакомства с читателями журнала «Инженер-механик» мы представляем одну из крупнейших лабораторий Института — лабораторию металлургии в машиностроении, руководит которой д.т.н., профессор Шипко Алексей Алексеевич. Эта лаборатория выполняет функции Объединенного института машиностроения НАН Беларуси, как головного института по ГПНИ (подпрограмме) «Металлургия», а также по организации научного обеспечения технического переоснащения и модернизации литейных, термических, гальванических и других энергоемких производств республики. В этой лаборатории развиваются направления, вынесенные в заголовок настоящей статьи. Остановимся на некоторых из них.

1. Упрочнение и структурно-фазовые превращения при ХТО зубчатых колес из сталей заданных химсостава и прокаливаемости; исследование их выносливости при изгибе, глупбинной контактной усталости и работоспособности в целом.

Уже более 30 лет под руководством сначала к.т.н. Анатолия Аркадьевича Сусина, а в последние 5 лет под руководством к.т.н. Сергея Петровича Руденко, развивается комплекс работ

по выработке критериев работоспособности зубчатых колес автотракторной техники, созданию методик расчета и проектирования их долговечности, проектированию современных промышленных технологий химико-термического упрочнения этих ответственных деталей энергонасыщенных машин [например, 1–3].

Главное здесь состоит в том, что для достижения предельно высокого уровня эксплуатационных характеристик таких наиболее массовых и ответственных деталей трансмиссий как зубчатые колеса, требуется учитывать всю цепочку технологических факторов — от технологии выплавки, химического состава сталей, их пластической деформации, механической обработки заготовок до термической, химико-термической и финишной операций. При этом структурные и фазовые превращения, напряженное состояние определяют уровень сопротивления изгибной и контактной усталости. Даже незначительное отклонение от оптимальной структуры зубчатых колес, требуемой твердости и эффективной толщины цементованного слоя приводят к существенному снижению их долговечности.

Вместе с тем, несмотря на наличие на многих предприятиях машиностроения современных агрегатов химико-термической обработки с высоким уровнем автоматизации, имеется большой разброс прочностных и усталостных характеристик обрабатываемых деталей. Это вызывает необходимость уточнения нормативных документов по контролю качества упрочненных зубчатых колес.

Например, нарушение технологических параметров (температуры нагрева, величины углеродного потенциала), приводящее к выделению в

мартенситной матрице только до 10 % бейнитной фазы приводит к снижению долговечности зубчатых колес в 2 раза, а до 20 % глобулярных карбидов — в 1,5–3 раза.

Для дифференцированного выявления структурных составляющих с близкими физико-механическими свойствами в лаборатории разработаны специальные металлографические реактивы, позволяющие с высокой точностью идентифицировать карбидную, мартенситную и бейнитную фазы, а также остаточный аустенит. Например, рис. 1.

На основе проведенных исследований по идентификации структурных характеристик, определения критериев работоспособности зубчатых колес, их сопротивления усталости, экспериментального и расчетного определения прокаливаемости цементуемых сталей и упрочненных слоев, предложенной методики расчета зубчатых колес на глубинную контактную выносливость, в лаборатории созданы программные средства компьютерного проектирования зубчатых передач заданной долговечности, расчета прокаливаемости стали, моделирования процессов диффузии углерода в поверхностных слоях цементуемых деталей и расчета параметров химико-термического упрочнения (рис. 2–5).

При использовании приведенных программных пакетов достигается экономия энергоресурсов до 25 % за счет сокращения времени на проведение прецизионной и высокоэффективной химико-термической обработки; снижение всех видов затрат и процента брака; повышение качества продукции в 1,5 раза выше гарантированно-го ресурса деталей.

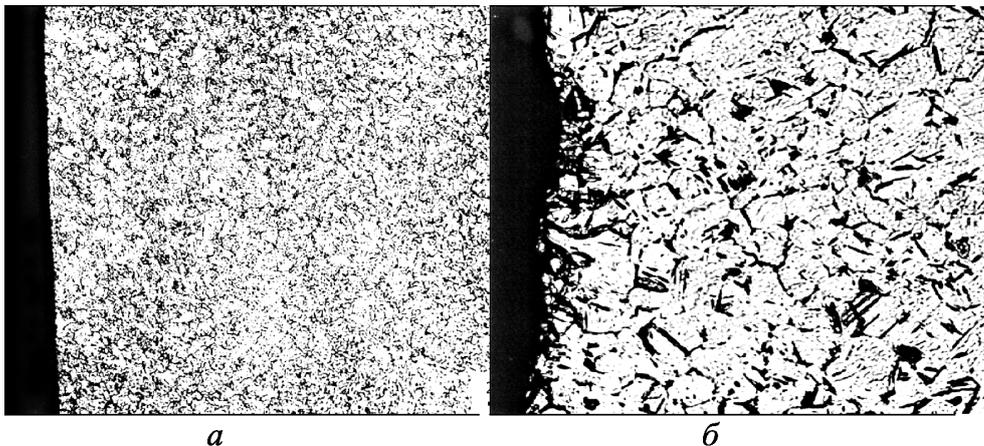


Рис. 1. Микроструктура цементованного слоя:
а — не содержащая продукты немартенситного превращения;
б — с включениями пластинчатого бейнита

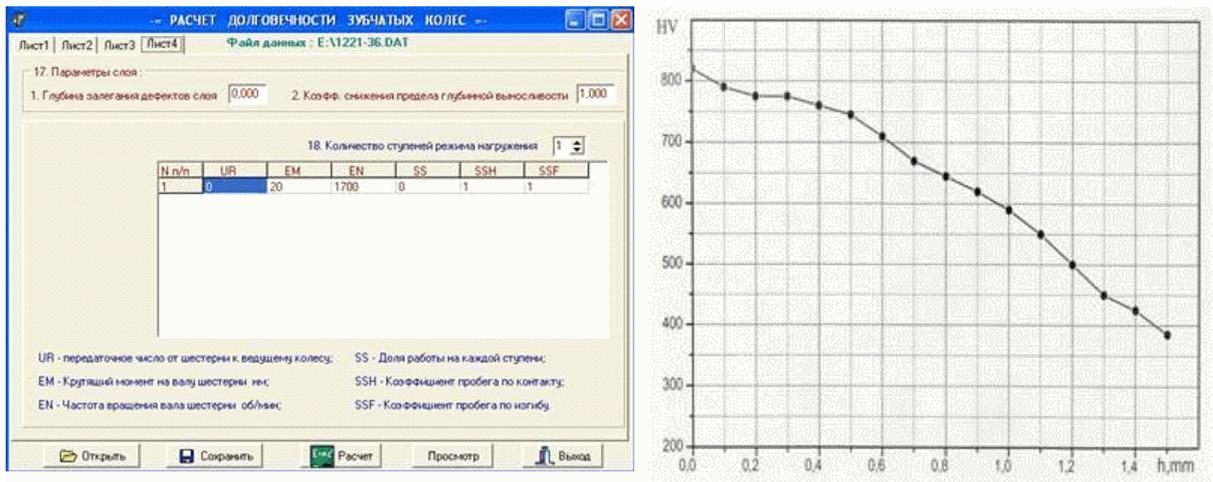


Рис. 2. Программный пакет «GearProg». Предназначен для расчета ресурса зубчатых колес трансмиссий, величины микротвердости и ее распределения по упрочненному слою

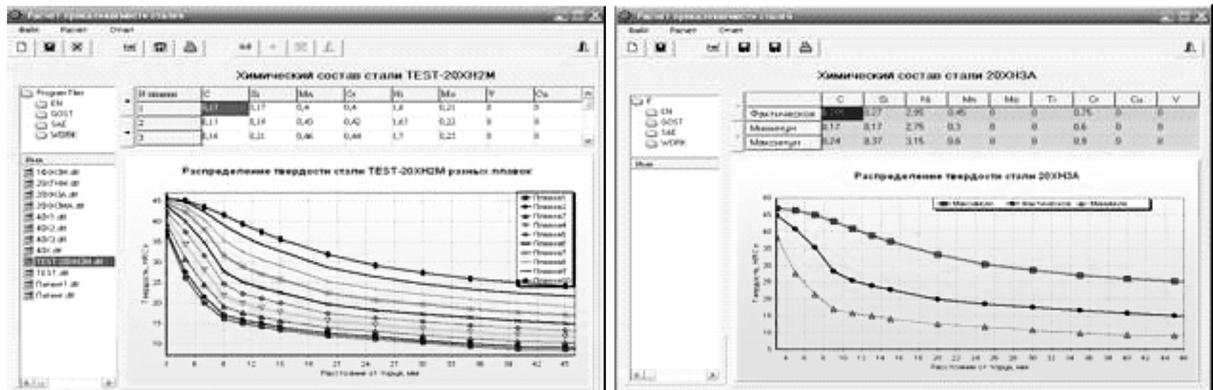


Рис. 3. Программный пакет «SteelPro». Рассчитывает прокаливаемость стали в зависимости от величины зерна аустенита и химического состава стали. Расчет основан на определении идеального критического диаметра и величины микротвердости с учетом делительных коэффициентов на заданном расстоянии от поверхности детали

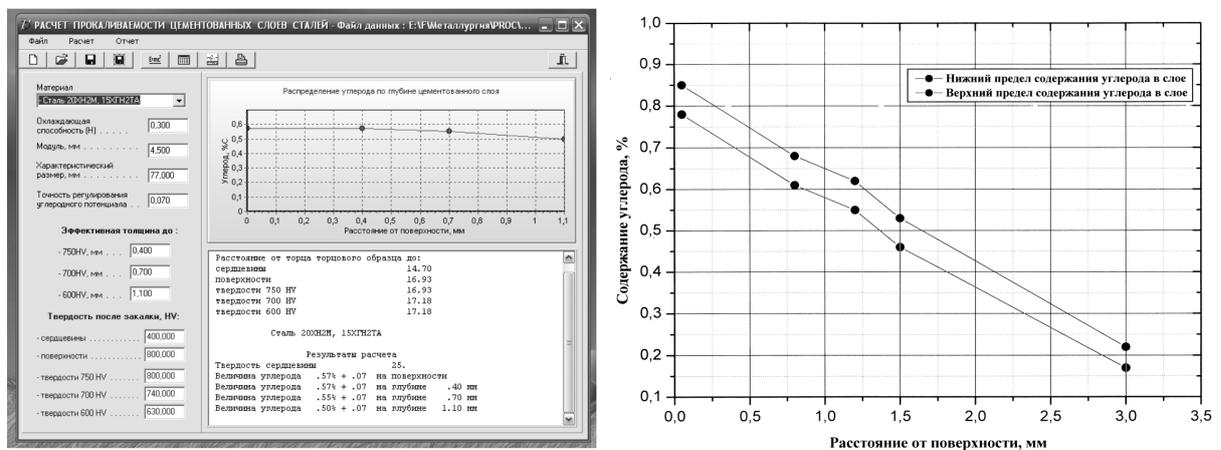


Рис. 4. Программный пакет «Carb». Рассчитывает распределение углерода по глубине упрочняемого слоя с учетом прокаливаемости стали, условий охлаждения деталей при закалке, размера и формы зубчатых колес

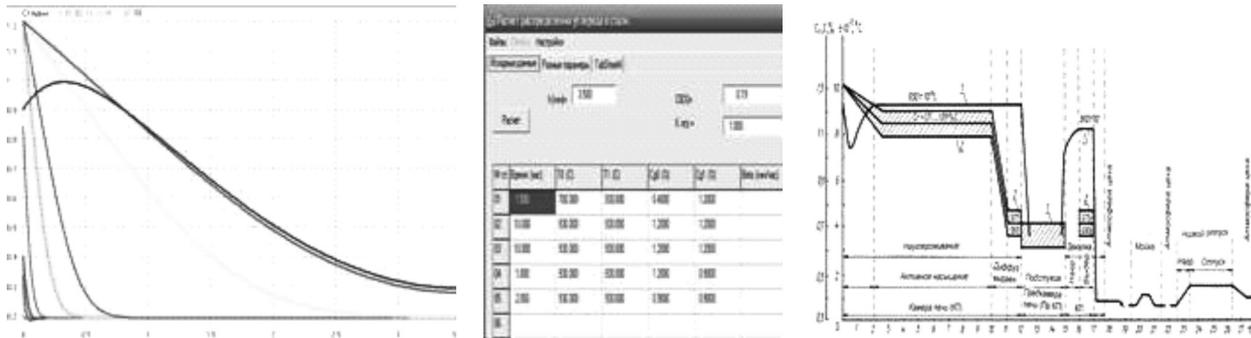


Рис. 5. Программный пакет «RegHard». Рассчитывает технологические параметры процесса цементации конструкционных сталей, обеспечивающие заданное распределение углерода, на основе моделирования процессов диффузии углерода в стали с учетом коэффициентов массопереноса, величины и точности регулирования углеродного потенциала печной атмосферы

Технология соответствует лучшим мировым аналогам, например, фирм «Катерпиллер», «Мерседес-Бенц», «Вольво», «Комацу», «Юнит-Риг» и др.

В результате многолетней работы разработана методология проектирования высокоэффективных технологических процессов упрочнения зубчатых колес трансмиссий энергонасыщенных машин, которая позволяет на стадии проектирования зубчатых передач назначать марку стали, технические требования к эффективной толщине и качеству микроструктуры упрочненных слоев, рациональные параметры ХТО и регламентируемую долговечность высоконапряженных зубчатых колес. По этим проблемам в рамках государственных научно-технических программ, программ научных исследований, договоров о сотрудничестве ведутся работы с БелАЗом, МТЗ, МАЗом, МЗКТ.

Предлагается дальнейшее расширение работ по мониторингу действующих на предприятиях Беларуси, России агрегатов и технологий химико-термического упрочнения зубчатых колес из сталей различных марок, корректировке технологических параметров с целью удешевления производства и повышения срока службы обрабатываемых деталей.

2. Объемное и поверхностное модифицирование алюминиевых сплавов.

Руководят этими работами к.т.н. Александр Иванович Комаров и к.ф.-м.н. Валентина Иосифовна Комарова. В результате многолетних исследований решены важные для материаловедения и практического использования задачи значительного повышения износоустойчивости

и улучшения структурно-фазовых характеристик сплавов на основе алюминия. Так, завершен комплекс работ по установлению природы воздействия частиц углеродных наноматериалов (углеродных нанотрубок, фуллеренсодержащих форм, аморфного углерода), включенных в виде добавок в керамическую матрицу структурных модификаций α -, γ - Al_2O_3 , сформированную методом микродугового оксидирования, на трибоформирование антифрикционных, износостойких слоев на поверхности керамики. Впервые выявлены особенности трибоформирования под воздействием углеродных наночастиц структуры поверхности трения, заключающиеся в образовании специфических наноструктур (20–30 нм) на основе углерода, обеспечивающих многократное (до 10 раз) повышение износоустойчивости при одновременном снижении коэффициента трения в 2,5–8 раз, значительном расширении диапазона рабочих нагрузок (рис. 6, 7) [4].

Для решения задачи объемного упрочнения алюминиевых сплавов разработаны физико-химические принципы создания алюмоматричных композитов путем целенаправленного армирования сплавов, в том числе промышленных силуминов системы Al – Si – Cu – Mg – Ni тугоплавкими полифункциональными наноструктурированными наполнителями на основе микро- и ультрадисперсных порошков оксидов и нитридов, выполняющих, с одной стороны, функцию доноров для протекания на их поверхности реакций, приводящих к образованию наноразмерных соединений и элементов, с другой — носителей этих наноконпонетов в расплав, обеспечивая при этом их равномерное распределение в алюминиевой матрице.

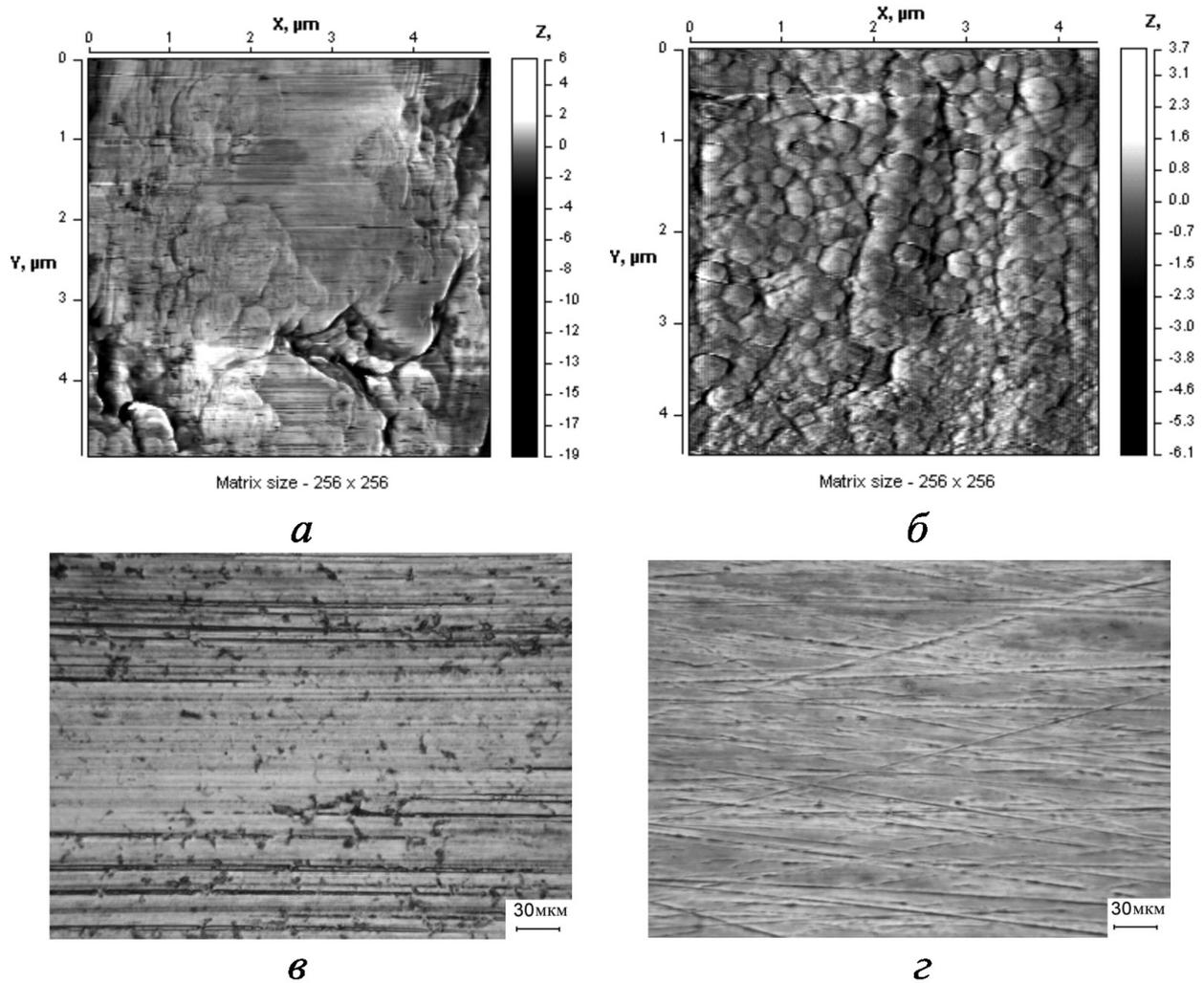


Рис. 6. АСМ-изображение (а, б) и микроструктура (в, з) поверхности трения немодифицированного (а, в) и модифицированного фуллеренами C_{60} керамического покрытия

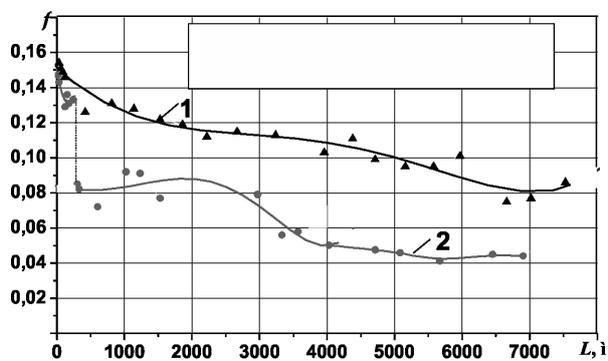


Рис. 7. Зависимость коэффициента трения от продолжительности испытаний немодифицированного (1) и модифицированного фуллеренами C_{60} (2) керамического покрытия

Разработан новый процесс самопроизвольного синтеза керамических тугоплавких наночастиц непосредственно в алюминиевых расплавах вследствие реакций с компонентами наноструктурированного наполнителя. Этот процесс характеризуется высокой эффективностью ввода наноразмерных керамических соединений в расплавы за счет смачиваемости матричным алюминиевым расплавом армирующих фаз, стойкости к образованию агрегатов частиц наполнителя, их равномерного распределения в расплаве. Показана высокая эффективность разработанного способа. В частности, при модифицировании эвтектического силумина АК12М2МгН наноструктурированным наполнителем на основе ультрадисперсного порошка диоксида кремния достигнут дисперги-

рующий эффект интерметаллидных фаз, размера зерен α -фазы, измельчение эвтектики силумина в 20–30 раз. Это обеспечило повышение трибомеханических свойств в 1,5–5 раз при одновременном расширении диапазона рабочих нагрузок не менее 2 раз (рис. 8, 9) [5–6].

Полученные результаты применены для упрочнения узлов трения различного назначения применены (рис. 10). Установлено, что при упрочнении разработанным керамическим покрытием рабочих поверхностей ползушек дорогостоящего технологического оборудования ЗАО «АТЛАНТ» достигнуто повышение его срока эксплуатации более чем в 10 раз, при этом экономический эффект составляет не менее 36 млн рублей на один комплект вакуум-формы. В настоящее время этим предприятием проводится переоснащение линий серийного производства с использованием деталей вакуум-форм с керамическим покрытием. На ОАО «Полоцк-Стекловолокно» упрочнены

керамическим покрытием запорные кольца оборудования для производства стекловолокна, которые замещают аналогичные детали производства Германии. Осуществлена замена шаров запорной газовой арматуры, изготавливаемых из дорогостоящей нержавеющей стали, на шары из сплавов алюминия с керамическим покрытием, что обеспечивает значительное повышение износостойкости этих деталей при одновременном снижении массы. Подобные работы проводятся и с рядом других белорусских предприятий (рис. 10).

3. Технологии и оборудование индукционного нагрева изделий и полуфабрикатов

Эти работы Объединенный институт машиностроения проводит совместно с Физико-техническим институтом НАН Беларуси и Белорусским национальным техническим университетом. Руководят работами — д.т.н. Павел Семенович Гурченко, к.т.н. Анатолий Игнатьевич Михлюк, к.ф.-м.н. Александр Владимирович Толстой.

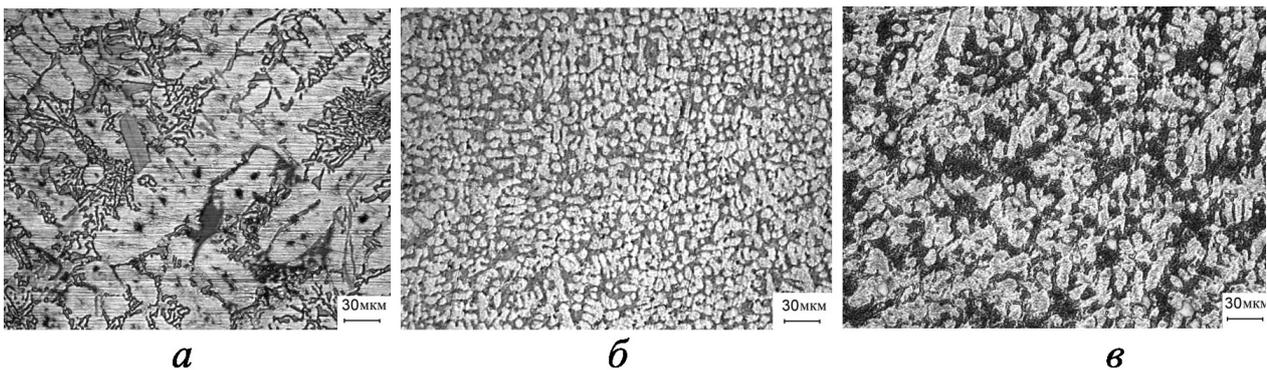


Рис. 8. Микроструктура сплава АК12М2МgН в состоянии поставки (а), модифицированного наноструктурированным наполнителем на основе ультрадисперсного диоксида кремния (б) и нитрида бора (в)

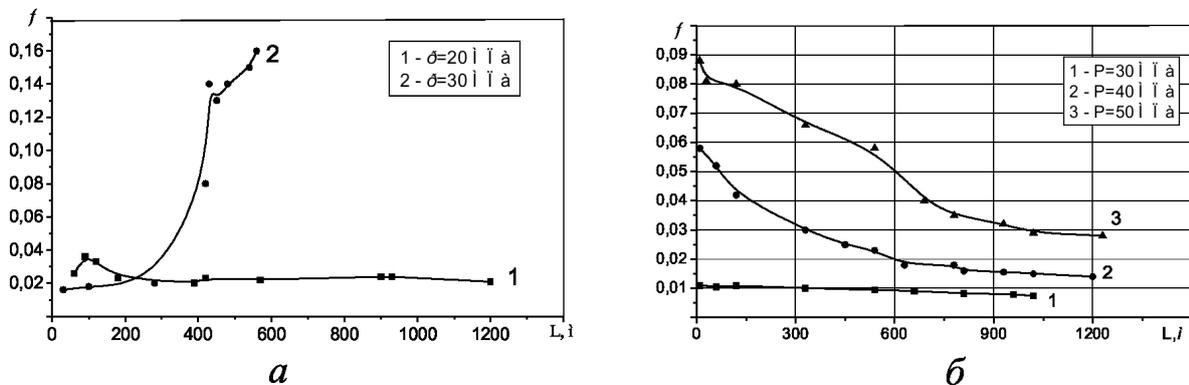


Рис. 9. Зависимость коэффициента трения от продолжительности испытаний немодифицированного сплава АК12М2МgН (а) и модифицированного наноструктурированным наполнителем на основе нитрида бора (б)

В качестве примеров выполненных работ можно привести внедренный в 90-х гг. технологический процесс и оборудование скоростной нитроцементации при индукционном нагреве пальцев рессоры и пальцев реактивной штанги автомобилей МАЗ, позволившие с 6 ч до 3 мин сократить длительность цикла упрочнения и в 1,6–2,5 раза увеличить срок службы деталей; а также процесс и обо-

рудование объемно-поверхностной закалки сложнопрофильных шестерен и сателлитов колесной передачи ведущих мостов автомобилей, позволивших резко сократить продолжительность процесса, в 11,5 раз уменьшить потребление электроэнергии. Одновременно, за счет применения для изготовления этих деталей более дешевых сталей, в 2,4 раза уменьшились затраты на их приобретение (рис. 11).

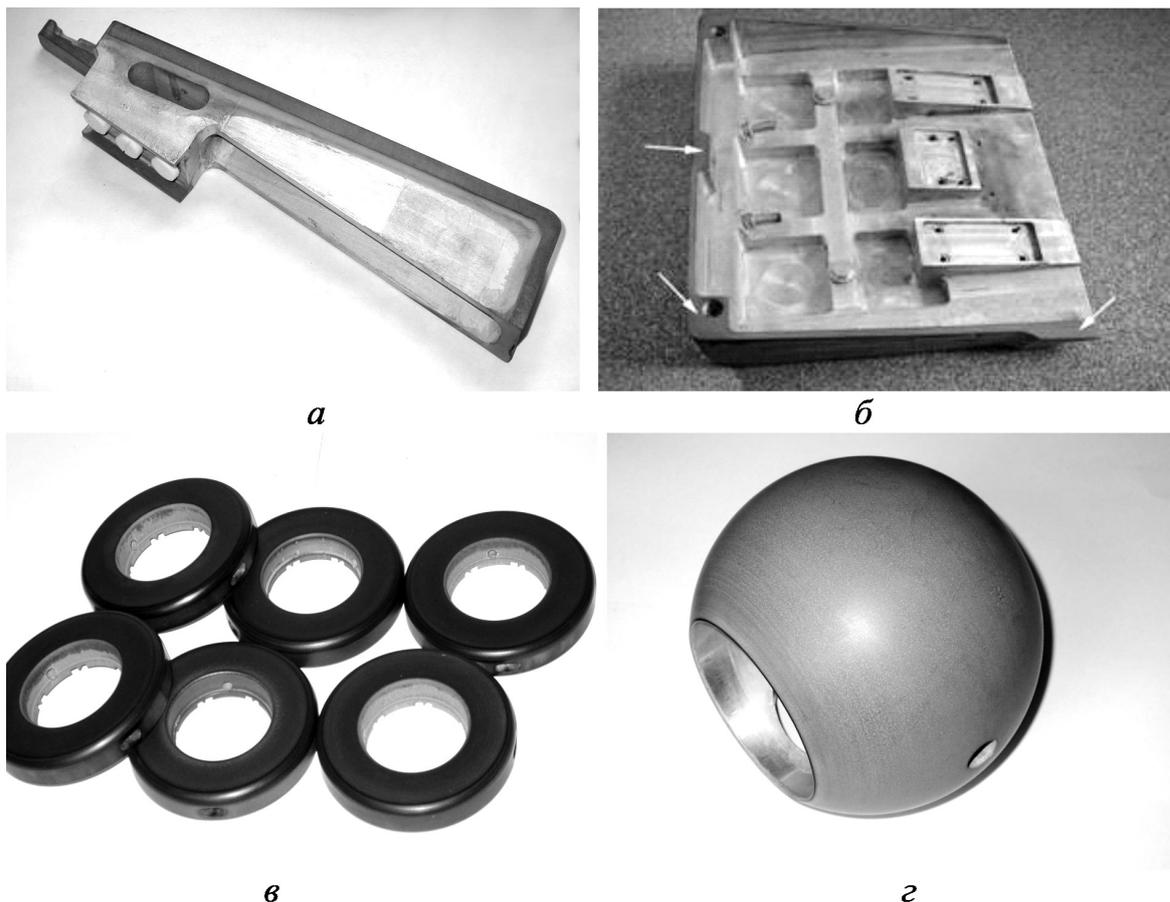


Рис. 10. Детали, упрочненные модифицированными углеродными наночастицами керамическим покрытием: а, б — подвижные вставки вакуум-форм для изготовления крупногабаритных полимерных комплектующих холодильников ЗАО «Атлант»; в — запорные кольца технологического оборудования ОАО «Полоцк-Стекловолокно»; z — шар газового крана РУП «Белгазтехника»

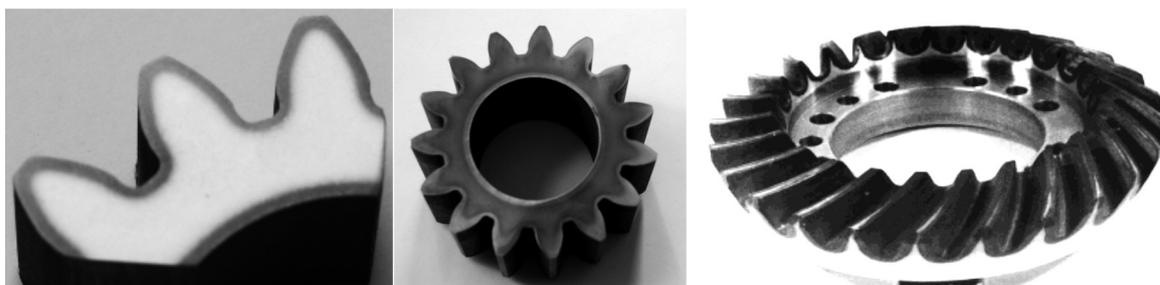


Рис. 11. Общий вид шестерен, упрочненных объемно-поверхностной закалкой с ТВЧ нагревом

Еще одним примером является разработанная и внедренная в производство технология и оборудование индукционной термообработки стальной литой дроби. Общий вид участка термообработки дроби на ОАО «МАЗ» показан на рис. 12.

Использование этого процесса позволило в 3 раза повысить стойкость дроби. Исследованы структура и свойства дроби, закаленной из расплава и подвергнутой термообработке. После термообработки дробь имеет структуру троостомартенсита твердостью 350–550 HV. По границам зерна мартенсит имеет значительную степень аморфизации. В литом состоянии структура гранул имеет дендритное строение в виде удлиненных кристаллов размером 13–40 мкм. Твердость в этом состоянии — 600–800 HV.

Работы последних лет — это разработка технологии и оборудования индукционного нагрева длинномерных деталей автомобилей, в частности, нормализации стальных прямоугольных труб каркасов автобусов, концевого ТВЧ нагрева деталей полуфабрикатов под ковку и штамповку и др.

Применение индукционного нагрева вместо печного позволяет в десятки раз сократить длительность процесса нагрева одной детали, в 3–4 раза снизить затраты электроэнергии. Отпадает необходимость использования природного газа, минеральных масел, огнеупорных материалов, асбеста; устраняются выбросы в окружающую среду вредных веществ и продуктов их распада. При нагреве под пластическую деформацию решающие преимущества заключаются в отсутствии окалины и угара, высокой культуре производства. В качестве примера можно привести следующие публикации [7–9].

Требуется расширение практического использования технологий индукционного нагрева. В настоящее время возглавил эти работы Физико-технический институт НАН Беларуси, в котором образован Центр индукционных технологий. Это подразделение специализируется не только на создании установок индукционного нагрева, но также на изготовлении современных генераторов для этих установок. Работами руководят академик Гордиенко Анатолий Илларионович и к.т.н. Вегера Иван Иванович.

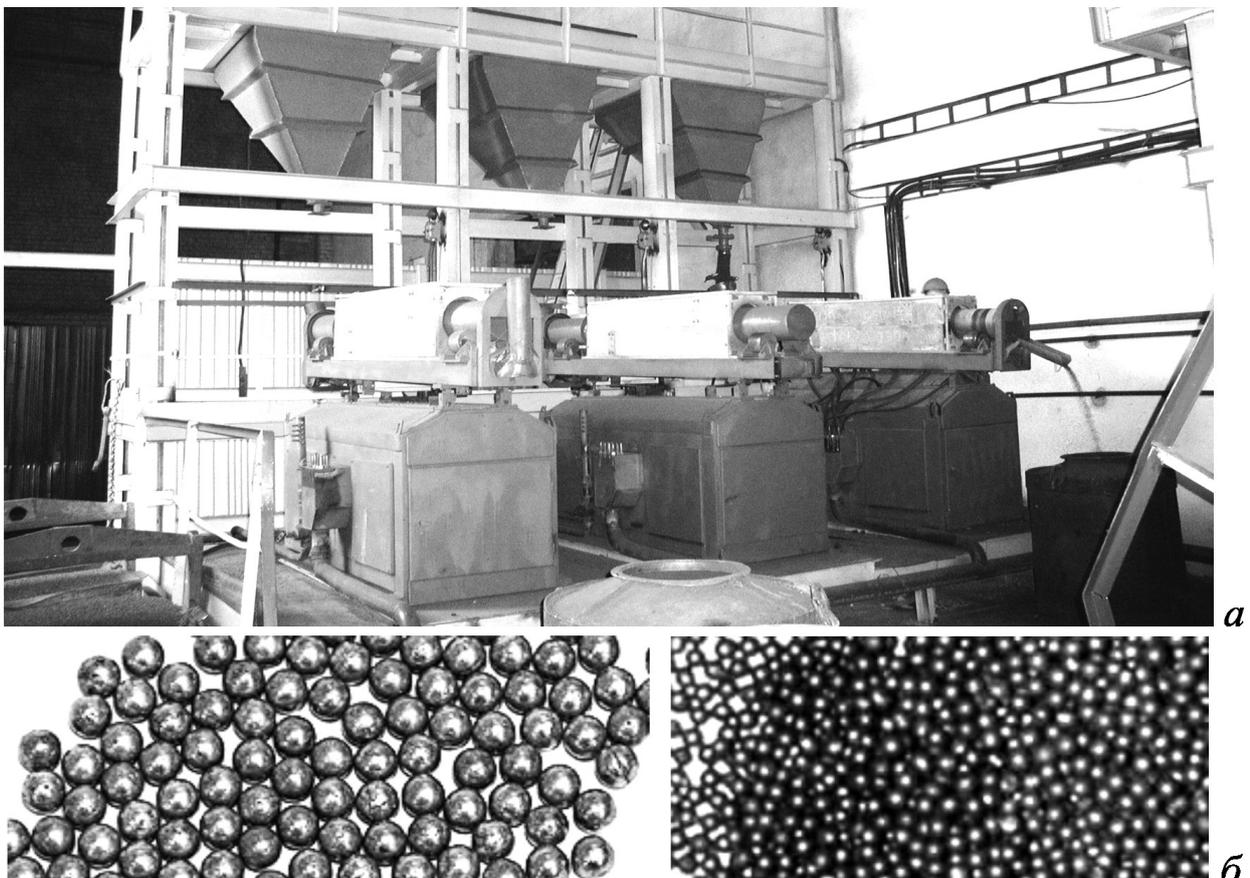


Рис. 12. Общий вид участка (а) и термообработанная стальная дробь различной фракции (б)

4. Магнитная структуроскопия изделий из сталей и чугунов.

Работы ведутся под руководством доктора технических наук Сандомирского Сергея Григорьевича. Исследования направлены на анализ особенностей связи структуры и фазового состава, физико-механических свойств сталей и чугунов с их магнитными параметрами. За последние годы получены аналитические выражения для расчета релаксационных магнитных параметров сталей по параметрам предельной петли гистерезиса, оценки максимальной магнитной проницаемости сталей и чугунов по коэрцитивной силе, расчета поля максимальной магнитной проницаемости сталей и погрешности ее измерения, формулы для расчета остаточной намагниченности сталей как среднего значения достоверного диапазона ее изменения. Установленные закономерности позволяют разрабатывать достоверные и высокопроизводительные методы контроля качества структуры стальных и чугунных изделий, в том числе движущихся в процессе производства. За последние 5 лет только в Российских научных журналах «Металлы», «Заводская лаборатория. Диагностика материалов», «Измерительная техника», «Метрология», «Деформация и разрушение материалов», «Электричество», «Электротехника», «Металлургия машиностроения», «Контроль. Диагностика», «Сталь» и других опубликовано более 40 статей (например [10, 11]), многие из которых изданы и на английском

языке. Получено 20 авторских свидетельств на изобретения и полезные модели. Опубликована монография [12].

Результаты научных исследований и технические решения по обеспечению заданной структуры необточенных отливок ниппелей из ковкого чугуна переданы на Минский завод отопительного оборудования по лицензионным договорам и внедрены в цехе ковкого и серого чугуна МЗОО в составе автоматизированной линии контроля и автоматической разбраковки по обрабатываемости необточенных отливок ниппелей из ковкого чугуна КЧ 30-6 (рис. 13). Эксплуатация линии повысила рентабельность производства ниппелей, обеспечила потребность завода, позволила отказаться от замены чугунных ниппелей на импортные стальные, обеспечить их экспортные поставки.

Разработана, передана по лицензионным договорам на филиал ОАО «Минский моторный завод» в г. Столбцы и внедрена в производство методика контроля механических свойств термообрабатываемых болтов дизельных двигателей. Применение методики, реализуемой разработанным прибором МАКСИ-У (Универсальный), гарантирует заданный предел прочности болтов, повышает надежность всех выпускаемых Минским моторным заводом дизельных двигателей (рис. 14). Ее использование приносит и непосредственный экономический эффект заводу — в производство возвращены тысячи дорогостоящих ответственных болтов.



Рис.13. Автоматизированная линия контроля и автоматической разбраковки по обрабатываемости не обточенных отливок ниппелей из ковкого чугуна КЧ 30-6



Рис.14. Внешний вид электронного блока прибора МАКСИ-У и контролируемых болтов различных типов

Разработанная методика магнитного контроля толщины поверхностно-упрочненных слоев протяженных изделий передана ОАО «Минский моторный завод» и внедрена в автоматном цехе ОАО «Минский моторный завод», филиал в г. Столбцы. Повышение достоверности контроля достигается благодаря тому, что информационный параметр методики при высокой чувствительности к толщине поверхностно-упрочненного слоя практически не подвержен влиянию нестабильности положения изделий при намагничивании и измерении. Применение методики предотвратило попадание на сборочный конвейер Минского моторного завода ответственных осей с низким уровнем механических свойств, повысило надежность всех выпускаемых заводом дизельных двигателей.

5. Исследование и разработка технологических основ кольцераскатки деталей типа профильных колец.

На предприятиях Беларуси (изготавливается более 200 наименований деталей типа колец) при годовой программе около 160000 штук — подшипники на Минском подшипниковом заводе, коронные шестерни планетарных передач на Минском тракторном, Минском автомобильном и Белорусском автомобильном заводах и Минском заводе колесных тягачей, специальные подшипники и колесные диски на Белорусском автомобильном заводе. Для изготовления колец используется ежегодно около 12000 т высоколегированных сталей, однако коэффициент использования металла составляет не более 0,6.

Зарубежное машиностроение для изготовления кольцевых заготовок успешно использует

кольцераскатные станы с ЧПУ, которые обеспечивают высокую и стабильную точность, минимальные припуски под последующую обработку, позволяют легко переналаживаться на изготовление различных типов колец (рис. 15), учитывают свойства материала колец и с помощью программного обеспечения корректируют режимы раскатки.

Для решения этой проблемы необходима не только закупка современного оборудования, но и разработка научных основ технологии кольцераскатки.

Предполагается, что внедрение кольцераскатки на МПЗ и БелАЗе позволит увеличить коэффициент использования металла с 0,6 до 0,71–0,77, снизить годовую потребность в закупке высоколегированных сталей примерно на 3500 тонн, снизить энергозатраты при изготовлении заготовок колец на 10–15 %, ликвидировать необходимость приобретения крупногабаритных заготовок за рубежом, в результате повысить конкурентоспособность белорусских подшипников и карьерных самосвалов. Выполняемые в Объединенном институте машиностроения исследования по разработке технологических основ кольцераскатки направлены на научное сопровождение внедрения кольцераскатки, оказание методической и практической помощи предприятиям в закупке современного кольцераскатного оборудования с ЧПУ. Под руководством д.т.н. Антонюка Владимира Евгеньевича выполнены разработки по выбору стратегии кольцераскатки применительно к номенклатуре колец белорусских предприятий. Стратегия кольцераскатки заключается в получении готового кольца с одного нагрева, для чего

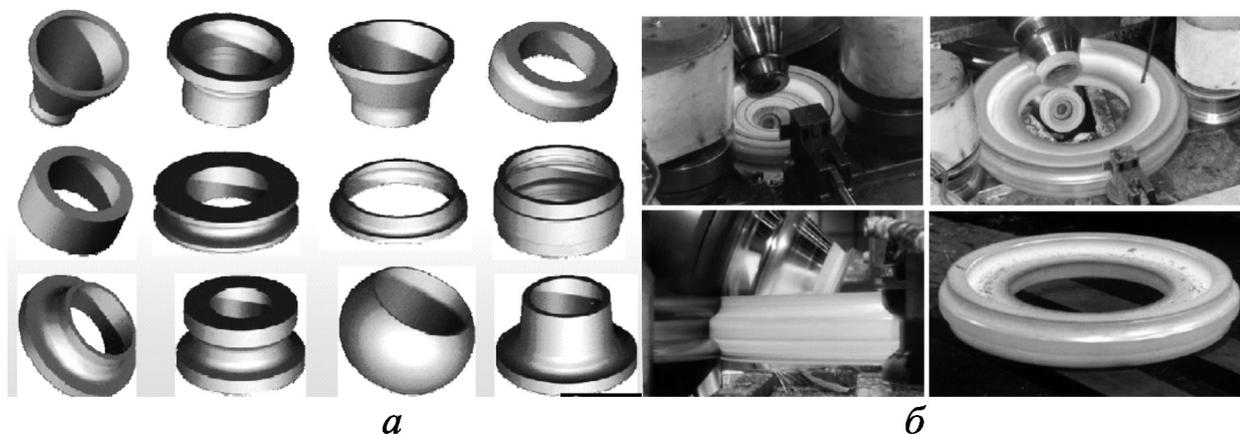


Рис. 15. Возможности кольцераскатки:

а — номенклатура деталей для кольцераскатки; б — раскатка профильных колец

необходимо выбрать оптимальное соотношение геометрических параметров заготовки кольца на всех операциях изготовления, позволяющее использовать минимальные усилия деформирования и соответственно обеспечить оптимальную стоимость оборудования. Результаты этих исследований опубликованы в монографии [13], а также в статьях и докладах конференций, например, [14].

6. Динамическая стабилизация геометрических параметров деталей.

В процессе изготовления большинство деталей подвержено различным видам деформаций, приводящих к изменению их геометрических параметров. Применяются различные технологические правки, которые в большинстве случаев основаны на статическом нагружении детали и поэтому не могут обеспечить сохранение стабильной геометрической формы на протяжении длительного времени.

Для достижения высокой точности и стабильной геометрической формы для нежестких деталей целесообразно использовать динамическую стабилизацию.

К настоящему времени научно обоснован и экспериментально подтвержден процесс динамической стабилизации при нагружении деталей знакопеременной нагрузкой по определенному закону при целенаправленном управлении шириной петли гистерезиса, определены оптимальные диапазоны основных технологических параметров процессов динамической стабилизации и разработаны схемы нагружения и методики инженерных расчетов напряженного состояния деталей типа дисков, плоских колец и валов применительно к условиям их нагружения при динамической стабилизации.

В 2006–2009 гг. создана принципиально новая конструкция установки с ЧПУ для динамической стабилизации фрикционных дисков с диаметром до 1000 мм, которые используются в карьерных самосвалах БелАЗ. Применение нового решения при изготовлении фрикционных дисков дает возможность обеспечить требуемую величину отклонения от плоскостности не более 0,3 мм, снизить припуски под черновое и чистовое шли-

фование, и главное — обеспечить повышение ресурса и конкурентоспособности белорусских карьерных самосвалов.

Экономический эффект за счет сокращения расхода материала, трудоемкости и энергозатрат в составил 920 млн руб. РБ. По теме, связанной с динамической стабилизацией, защищена докторская (В.Е. Антонюк) и кандидатская (В.В. Рудый) диссертации, опубликован ряд работ, например, [15, 16].

Намечены пути дальнейшего использования динамической стабилизации при изготовлении таких деталей, как коленчатые и торсионные валы, венцы маховиков, бурильные трубы, кольца (табл. 1).

Заключение

В Объединенном институте машиностроения НАН Беларуси развиваются научные основы поверхностного и объемного упрочнения железуглеродистых и алюминиевых сплавов, получен и опробован в производстве ряд новых результатов по исследованию влияния структурно-фазовых превращений на механические свойства сталей и сплавов, эксплуатационную стойкость деталей машиностроения.

В настоящей статье мы попытались сделать краткий обзор этих результатов, преследуя цель заинтересовать руководство и научно-технических работников белорусских и российских организаций в проведении совместных практически ориентированных работ, по их опытной проверке и внедрению в производство.

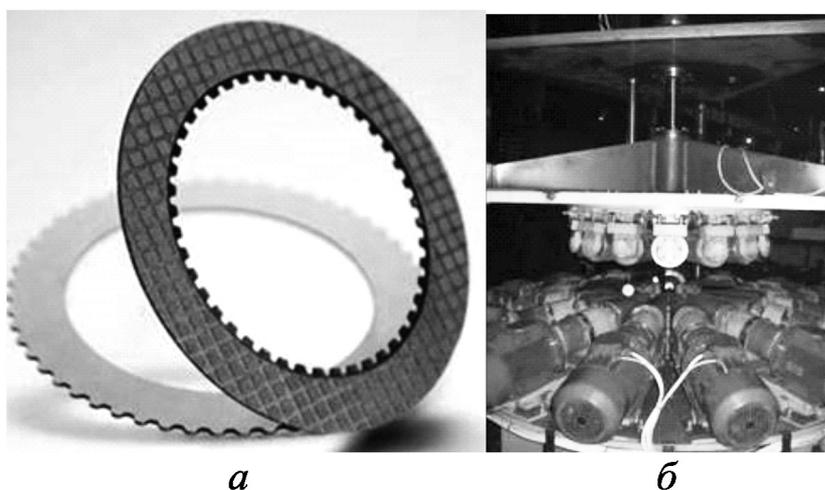
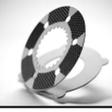
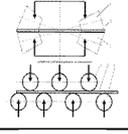
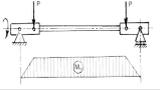
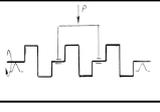


Рис. 16 Динамическая стабилизация фрикционных дисков: а — фрикционный диск, б — установка для динамической стабилизации

Таблица 1

Примеры деталей, для которых возможно применение динамической стабилизации

Детали-представители	Особенности нагружения	Схема нагружения
<p>Диски сцепления</p> 	<p>Нагружение за счет разворота и вращения центральной части диска</p>	
<p>Фрикционные диски</p> 	<p>Нагружение вращением диска между нижним и верхним рядом радиальных роликов</p>	
<p>Венцы маховика, коронные шестерни</p> 	<p>Нагружение вращающимися роликами по отверстию кольца</p>	
<p>Торсионные валы, буровые трубы</p> 	<p>Нагружение изгибом с вращением</p>	
<p>Коленчатые валы</p> 	<p>Нагружение изгибом с вращением вала</p>	

Список использованных источников

1. Сусин, А.А. Изгибная усталость, структура и субмикроструктура конструкционных химико-термически упрочненных сталей / А.А. Сусин, С.П. Руденко // Доклады НАН Беларуси. — 2002. — Т. 46. — № 2. — С. 111–114.
2. Руденко, С.П. Проектирование высокоэффективных технологических процессов химико-термической обработки зубчатых колес трансмиссий энергонасыщенных машин / С.П. Руденко, А.А. Шипко, А.Л. Валько, О.В. Кузьменков // Механика машин, механизмов и материалов. — 2011. — № 2. — С. 67–70.
3. Руденко, С.П. Структура цементованных слоев зубчатых колес трансмиссий энергонасыщенных машин / С.П. Руденко, А.Л. Валько, Е.И. Мосунов // Металловедение и термическая обработка металлов. — 2012. — № 4. — С. 38–42.
4. Витязь, П.А. Влияние наноразмерных частиц углерода на формирование структуры и свойств микродуговых керамических покрытий на сплавах алюминия / П.А. Витязь, А.И. Комаров, В.И. Комарова // Доклады НАН Беларуси. — 2013. — №2. — С. 96–101.
5. Влияние фазового состава наноструктурированного тугоплавкого модификатора на структуру и триботехнические свойства сплава АК12М2МгН / П.А. Витязь [и др.] // Трение и износ. — 2013 (34). — № 5. С. 362–372.
6. Способ получения литого композиционного материала на основе алюминиевого сплава / А.И. Комаров, В.И. Комарова, В.Т. Сенюць. — № а20120280; заявл. 28.06.2013.
7. Гурченко, П.С. Современная практика применения индукционной термообработки на Минском автомобильном заводе / П.С. Гурченко, А.И. Михлюк // Индукционный нагрев. — 2007. — №1. — С. 40–44.
8. Гурченко, П.С. Структура и свойства сложнопрофильных шестерен, упрочненных объемно-поверхностной закалкой / П.С. Гурченко, А.В. Толстой, А.А. Шипко // Материалы, технологии, инструменты. — 2006. — Т. 11. — № 2. — С. 91–96.
9. Гурченко, П.С. Термическая обработка при индукционном нагреве и структура стальной дробы, закаленной из расплава / П.С. Гурченко, М.И. Демин, А.И. Комаров // Литье и металлургия. — 2003. — № 4. — С. 78–86.
10. Сандомирский, С.Г. Оценка внутреннего коэффициента размагничивания чугунов по результатам измерения их остаточной намагниченности / С.Г. Сандомирский // Металлы. — 2013. — № 3. — С.88–94.
11. Сандомирский, С.Г. Расчет максимальной магнитной проницаемости ферромагнитного тела по его размагничивающему фактору и параметрам предельной петли гистерезиса / С.Г. Сандомирский // Электротехника. — 2013. — №3. — С. 49–54.
12. Сандомирский, С.Г. Расчет и анализ релаксационных магнитных параметров сталей / С.Г. Сандомирский // Palmarium academic publishing. Saarbrucken, Germany. — 2012. — 100 с.
13. Кольцеракатка в производстве деталей машиностроения / В.Е. Антонюк [и др.]. — Минск: Беларус. навука. — 2013, — 188 с.
14. Особенности использования кольцеракатного комплекса в производстве деталей ОАО «БелАЗ» / П.А. Пархомчик [и др.] // Актуальные вопросы машиноведения. — Вып. 1. — 2012. — С. 354–357.
15. Антонюк, В.Е. Динамическая стабилизация геометрических параметров деталей знакопеременным нагружением / В.Е. Антонюк. — Минск: Технопринт. — 2004. — 184 с.
16. Рудый, В.В. Работоспособность фрикционных тормозных дисков карьерных самосвалов семейства БелАЗ / В.В. Рудый, В.Е. Антонюк, Э.М. Дечко // Вестник Полоцкого государственного университета. Сер. В, Прикладные науки. — 2010. — № 2. — С. 81–86.

УДК 625.768

СНЕГОУТИЛИЗАЦИОННЫЕ ФОРСИРОВАННЫЕ УСТАНОВКИ

*Троцюк Т.С., Волощук О.Л.**Брестский государственный технический университет*

В Беларуси продолжительность снежного периода может составлять от 70 до 130 суток. За это время выпадает до 15–35 см неуплотненного снега. Поэтому очистка города от снега является одной из основных задач служб коммунального хозяйства. Снег, удаляемый с большинства городских улиц и магистралей, нельзя оставлять на прилегающих территориях, его необходимо вывозить и утилизировать.

Основным показателем, характеризующим свойства снега при его обработке, является насыпная плотность, или объемный вес. Этот показатель важен как для расчета количества снега, вывозимого автотранспортом, так и для определения количества тепла, необходимого для его плавления. Плотность снега зависит от того, и насколько долго снег находился в отвале на улицах города или на снегосвалке. Определяющим фактором являются погодные условия. Так, свежеснег имеет рыхлую структуру, которая содержит большое количество воздуха и соответственно малый удельный вес — порядка 0,2 кг/дм³. Вылёживание приводит к его уплотнению до 0,3–0,35 кг/дм³. При длительном вымораживании образуются крупные, плотно спрессованные кристаллы и насыпная плотность такого снега достигает до 0,5 кг/дм³. Вымораживание с периодическим таянием, в том числе и благодаря применению противогололёдных реагентов, приводит к оплыванию отдельных кристаллов и формируется масса плотностью 0,55–0,85 кг/дм³, всё более приближающаяся по плотности к льду. Самым плотным является скол — уплотнённый, неоднократно подтаявший за зиму и замёрзший снег, удаляемый в конце зимы.

Так как в нашей стране в основном неустойчивые погодные условия и морозы чередуются с

оттепелями, особенно важно оперативно производить уборку снега, не доводя до длительного слеживания, уплотнения и вымораживания.

Существуют различные методы уборки снега [1, 2].

Самым простым и оперативным методом удаления снега является его вывоз на «сухие» снегосвалки, оборудованные сооружениями сбора и очистки талой воды. Для размещения, например, 1 млн м³ снега необходима площадь не менее 12 га. Дефицит городских земель и экологическое несовершенство «сухих» снегосвалок определили необходимость поиска иных методов удаления снега.

Так же в борьбе со снегом используют химические реагенты. Химический способ устранения последствий снегопадов представляет собой применение особых твердых или жидких химических материалов, которые «плавят» снег. Как правило, в качестве подобных реагентов используются материалы, содержащие в своем составе хлористые соли. Под их действием снег разжижается, покрытие быстро становится мокрым и после высыхает. Но соли приводят к коррозии труб, мостов, автомобилей, вызывают аллергию, вредят обуви, одежде, лапам животных и историческим памятникам, не говоря уже об окружающей среде, так как попадают в подземные воды, почву и реки.

Экологически безопасное решение проблемы удаления снега возможно за счёт использования тепла городских сточных вод. Однако в небольших городах, где нагрузка на канализационные коллекторы не высока, а в ночное время объёмы водоотведения снижаются до минимума, использование подобного принципа нецелесообразно.

Многие методы уборки и утилизации снега уже исчерпали свои возможности.

Последнее время внедряется новая технология при уборке снега. Это применение мобильных снеготаяльных установок на любом транспорте, прицепах, в тепляках. Описываемый в статье метод является одним из этих методов плавления снега.

Преимущество мобильных установок неоспоримо. Это и невысокая эксплуатационная стоимость, и максимальное сокращение плеча вывоза снега, и возможность их применения в труднодоступных местах.

Интерес представляют зарубежные фирмы, которые занимаются производством передвижных снеготаялок. Лидирующие позиции занимают американская фирма SnowDragon, канадская Trecan, швейцарская Rolba Termal, и многие другие.

Наша страна не занимается производством подобной техники, поэтому нам остаётся только закупать и брать в аренду такие машины за огромные деньги. Многие потребители, закупившие заграничные снеготаялки, отмечают их дороговизну, большую металлоёмкость и энергоёмкость, сложность в эксплуатации, большой расход топлива из-за несовершенства топочного и теплообменных процессов.

Исходя из этого можно сделать вывод, что нам срочно необходимо выпускать свои снегоплавильни.

Научно-исследовательская лаборатория ПУЛЬСАР Брестского государственного технического университета предлагает за основу разработки принять новую технологию сжигания топлива, реализуемую в камерах пульсирующего горения — КПП, с резкой интенсификацией горения и теплообмена при отсутствии недожогов, это позволит значительно уменьшить габариты снегоплавильных установок, сократить расходы топлива и в десятки раз снизить стоимость установки в сравнении с зарубежными аналогами.

Камера пульсирующего горения (рис. 1) [3] состоит: из камеры воспламенения — 1, резонансной трубы — 2, аэродинамического клапана — 3, форсунки — 4 при сжигании жидкого топлива (керосин, дизельное топливо) или горелки при сжигании газообразного топлива (пропан-бутан, водород), запального устройства — 5.

Запуск КПП осуществляется следующим образом: с помощью вентилятора в АК подается пусковой воздух, через форсунку или горелку подается топливо и включается запальное устройство. Приготовленная газозвушная смесь воспламеняется, происходит взрыв, и горячие газы устремляются по резонансной трубе на выход. В

камере воспламенения затем образуется разрежение, через АК засасывается воздух, который смешивается с непрерывно подаваемым топливом, образуя новую порцию газозвушной смеси. В дальнейшем каждая новая газозвушная смесь воспламеняется от частично возвратившихся горячих газов в резонансном канале. В КПП образуется стоячая пульсирующая газовая синусоидальная волна с переменными скоростью и давлением. После выхода КПП на пульсационный режим (3–5 с), запальное устройство и пусковой воздух отключаются. Данный способ сжигания топлива способствует интенсификации теплообменных процессов: значительно увеличивается коэффициенты теплоотдачи и, следовательно, коэффициент теплопередачи от газов к обрабатываемой среде.

Ниже описываются две схемы снегоплавильных установок с КПП, которые могут использоваться в коммунальном хозяйстве.

Первая установка (рис. 2) предлагается для таяния свежеснежившего, лежалого и сколотого снега в процессе уборки от снега: улиц, площадей, спортивных площадок, аэродромов, крыш жилых домов и производственных зданий и т.д.

Установка выполнена в металлическом корпусе из листового металла (3 мм). В нижней части грузочного бункера 1 находится КПП. Резонансная труба 2 камеры пульсирующего горения в виде змеевика соединена с бункером ребрами жёсткости 3 и распорками, которые одновременно служат рассекателями снежной массы и увеличивают теплоотдачу от резонансной трубы КПП. Выхлопные горячие газы, выходящие из резонансной трубы, направляются непосредственно вдоль талой воды, что позволяет дополнительно использовать энергию отходящих газов для плавления снега, находящегося над поверхностью воды.

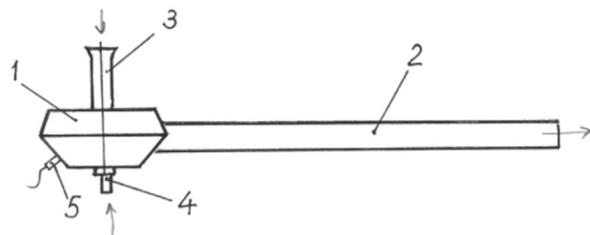


Рис. 1. Камера пульсирующего горения (КПП):
1 — камера воспламенения; 2 — резонансная труба; 3 — аэродинамический клапан;
4 — форсунка (горелка); 5 — запальное устройство (электросвеча)

5. После удаления кучи снега устройство передвигается (разбирается, перевозится, собирается) на другой объект.

Оценить расход топлива (соляр, печное, газ) можно следующими исходными данными: теплота сгорания топлива 10000 ккал/кг, теплота плавления льда, снега 80 ккал/кг, поэтому при полной утилизации теплоты получаем $10000/80 = 125$ кг воды на 1 кг топлива. КПД устройства 70–80 %. Поэтому на плавление кучи снега массой 5 т нужно израсходовать примерно: $5000 \text{ кг снега} / (125 \text{ кг снега} / \text{кг топлива} * 0,8) = 50 \text{ кг топлива}$. Это существенно меньше, чем при вывозе снега за город автотранспортом.

К достоинствам предлагаемых снеготаяльных установок в сравнении с существующими отечественными и зарубежными аналогами можно отнести:

1. Простота конструкции.
2. Малая металлоёмкость и низкая стоимость установок (в десятки раз меньше в сравнении с аналогами).

Литература

1. Северянин, В.С. Уборка и утилизация снега / В.С. Северянин // Изобретатель. — 2012. — № 7. — С. 32–33.
2. Системы удаления снега с использованием городской канализации / Храменков С.В. [и др.] // Водоснабжение и санитарная техника. — 2008. — №1 0.
3. Устройство пульсирующего горения: а.с. 1261388, 1342152 СССР – F23c11/04 / Северянин В.С. [и др.]. — 1985.

3. Высокий КПД.

4. Отсутствие загрязнения окружающей среды продуктами сгорания топлива.

5. Не требуется дополнительных затрат на дизель-генераторы, насосы, электроэнергию.

6. Широкий спектр применения.

7. Относительно невысокая эксплуатационная стоимость в пересчёте на 1 м³ суточной производительности таяния снега.

8. Использование данных установок резко сокращает плечо вывоза снега при его уборке. Сокращается количество автотранспорта для вывоза снега. Следовательно, уменьшаются расходы на эксплуатацию транспорта и разгружаются автомагистрали города.

Мы благодарим наших научных руководителей д.т.н., профессора Северянина В. С. и к.т.н., доцента Дерещука Е.М. за помощь в обработке и анализе информации по данной теме и описании конкретных предложений.

МЕТОД ПОДРАЩИВАНИЯ ПРИ МОНТАЖЕ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ КИЕВСКОЙ ТЕЛЕБАШНИ

Н.П. Сытник

*Директор ООО «Научно-технический центр “Монтажспецтехника”»,
д.т.н., заслуженный изобретатель УССР*

(материал из журнала «Промислове будівництво та інженерні споруди», 2013, № 3)

Сущность предложенного способа монтажа башни методом подращивания заключается в следующем. До начала монтажа сооружения устанавливают подъемно-сборочный агрегат, на котором монтируют часть ствола. На нулевой отметке собирают опоры-ноги базы и соединяют их шарнирами со стволом. Подращивая ствол, устанавливают опоры-ноги в проектное положение, под нижние концы которых подводят фундамент, а верхние объединяют решеткой,

образуя обойму, через которую в дальнейшем выдвигают ствол до проектной отметки. Затем опоры-ноги жестко закрепляют к стволу, внутри которого продолжают выдвигать антенну и шахту лифтов.

Проект производства работ (ППР), разработанный институтом «Укрмонтажоргстрой», на основании предложенного способа монтажа башни методом подращивания предопределил четыре характерных этапа (рис. 1).

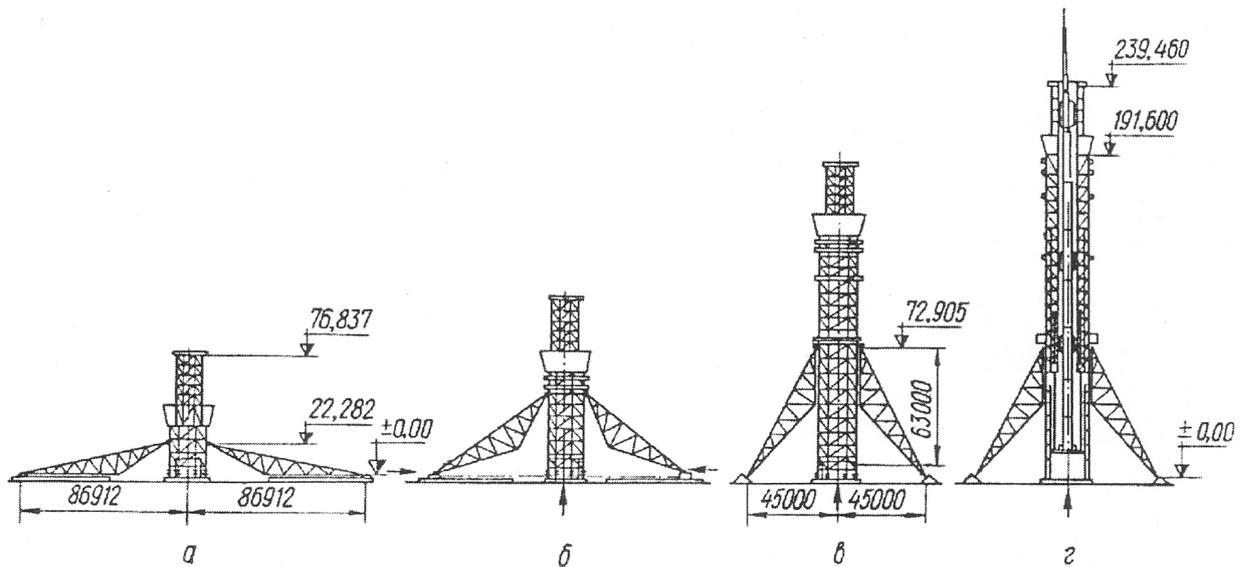


Рис. 1. Схема этапов монтажа башни:

а — подготовительный период; б — возведение базы «зонтиком»;
в — выдвигание ствола; г — выдвигание антенны и шахты лифтов

Подготовительный этап. В соответствии с разработанным стройгенпланом после планировки территории были устроены внутриплощадочные проезды и дороги с улучшенным покрытием, отведены и благоустроены места для складирования металлоконструкций, площадки под их укрупнительную сборку, подведена электроэнергия, устроено общеплощадочное освещение и установлено необходимое количество передвижных вагончиков для размещения бытовок и рабочих помещений.

На этом этапе были забетонированы фундаменты для шахты лифтов и подъемно-сборочного агрегата, фундаменты под опоры-ноги башни, а также ленточные поднакатные пути, кроме того смонтированы подъемно-сборочный агрегат, стенды для укрупнительной сборки конструкций, часть конструкций верха башни, опоры-ноги башни.

Для башенного крана КБ-1000 выполнен кольцевой путь с радиусом 49 м, расположенный эксцентрично относительно центра башни. Это дало возможность вести укрупнительную сборку и монтаж секций ствола башни, ствола антенны «Алтай» и опорной базы, а также складировать конструкции внутри кольцевых путей, расширяя таким образом площадь, которую может обслужить кран.

Верхние плоские блоки поочередно выводили в вертикальное положение двумя одновременно работающими кранами СКГ-63 и КБ-1000.

Нижние части блоков опор-ног возводили в предмонтажное положение самоходными кранами СКГ-63 и МКП-40 и пристыковывали к верхнему блоку.

Параллельно с установкой в предмонтажное положение опор-ног башенным краном монтировали конструкции верхнего технического здания.

Затем было смонтировано синхронизирующее натяжное устройство, представляющее собой замкнутую канатную систему, огибающую блоки, установленные в начале и в конце накатного пути опор-ног базы, блоки были закреплены к якорям.

Всего было смонтировано 1205 т металлоконструкций верхних секций ствола башни, ствола антенны «Алтай» и опор-ног базы, а также 175 т монтажного оборудования.

Возведение базы «зонтиком». Такое название этот этап получил потому, что в процессе подъема опор-ног базы концы опор-ног, приближаясь к стволу, напоминают закрывающийся зонтик. Технологический процесс возведения базы «зонтиком» (рис. 2) от предмонтажного начального положения (определяющегося положением шарниров соединения опор-ног базы со стволем башни на отметке 22,282 м) в конечное проектное положение (характеризовавшееся креплением опор-ног базы к стволу на отметке 72,0 м, что соответствует положению шарниров на отметке 72,905 м) производился одновременно с подращиванием ствола путем поэлементной сборки и сварки подращиваемого яруса на подъемно-сбо-

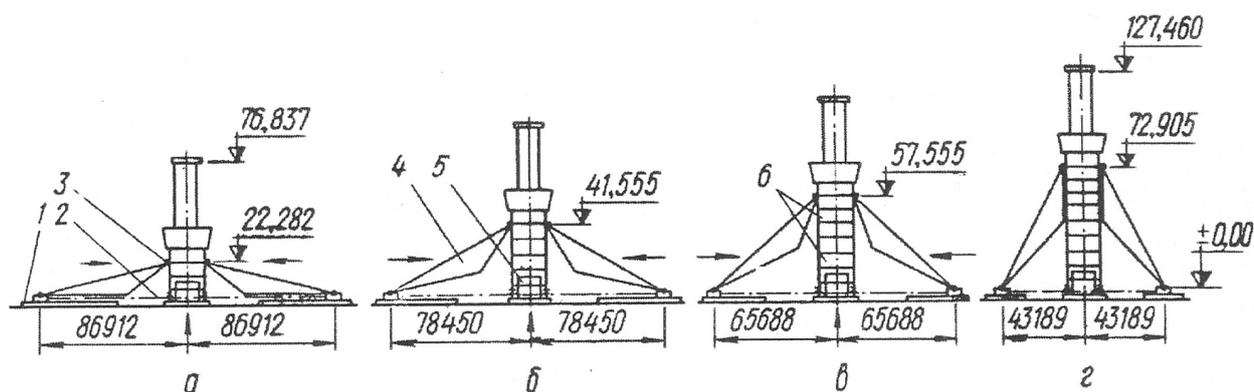


Рис. 2. Схема технологического процесса возведения базы «зонтиком»:

а — первоначальное положение опор-ног базы и части ствола перед возведением; *б, в* — промежуточные положения опор-ног базы в процессе их возведения соответственно после подрачивания трех и пяти ярусов ствола; *г* — конечное (проектное) положение опор-ног после подрачивания семи ярусов ствола; 1 — накатной путь; 2 — синхронизирующе-натяжное устройство СНУ-4; 3 — технологический шарнир соединения опоры-ноги базы со стволом; 4 — опора-нога базы; 5 — подъемно-сборочный агрегат АПС-8; 6 — подрачиваемые ярусы ствола

рочном агрегате АПС-8 и последовательного ступенчатого подъема в пределах яруса на его высоту 8 м (восемь шагов по 0,9 и один последний 0,8 м). Для возведения базы в проектное положение было произведено семь таких циклов (стадий подъема), т. е. подращено семь ярусов ствола.

Масса конструкций каждого яруса в зависимости от толщины труб колебалась от 28 до 30 т.

В процессе монтажа базы «зонтиком» синхронизирующе-натяжное устройство позволило исключить перекося ствола башни от возникающих горизонтальных нагрузок. Это подтверждает тот факт, что отклонения оси ствола от вертикали в процессе монтажа не только не превышали нормативные 0,001 Н, но были меньше их в 2–4 раза. При возведении базы нижние концы четырех ее опор-ног перемещались по накатным путям на одинаковые расстояния, т.е. в замкнутой кольцевой канатной системе СНУ-4 с предварительным натяжением происходило перераспределение и выравнивание усилий. Усилия в системе в процессе подъема изменялись в небольших пределах, а максимальное отставание ног базы относительно друг друга при их перемещении по накатным путям не превышало 40 мм. После каждого подъема ствола на один ярус монтажные башмаки базы дополнительно фиксировались специальными противоугонными устройствами, установленными на рельсах накатных путей. Промежуточное положение возведения базы «зонтиком» показано на рис. 3.

На конечной стадии этого этапа на подъемно-сборочный агрегат приходилась нагрузка, равная 1364 тс.

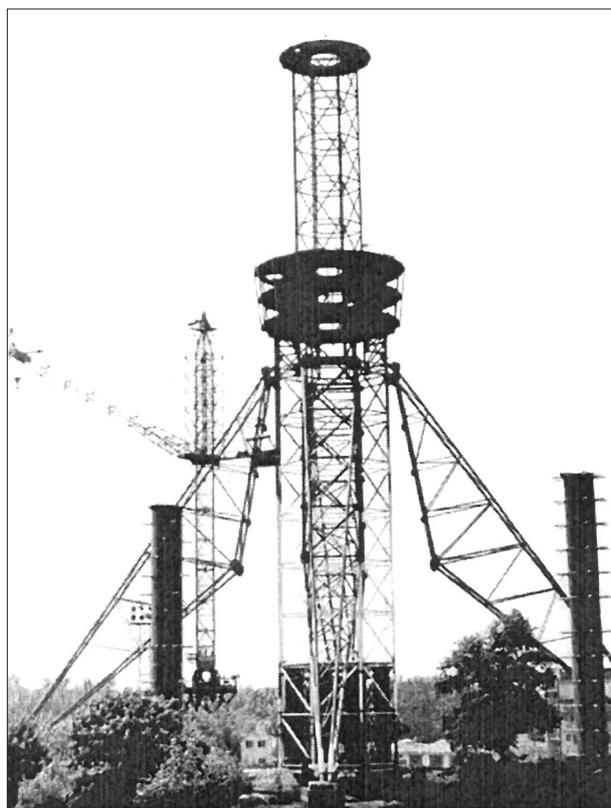


Рис. 3. Возведение базы «зонтиком» (промежуточное положение опор-ног базы)

После выведения базы в проектное положение была тщательно выверена вертикальность смонтированной части башни.

Выдвижение ствола. Перед началом этапа выдвижения ствола на отметке 72,33 м всех восьми вертикальных поясов базы были смонтированы верхние рычажные направляющие устройства.

Верхние направляющие устройства совместно с нижними направляющими подъемно-сборочного агрегата, смонтированными на отметках 9,48 м на опоре-кондукторе, образовали направляющий «канал» высотой около 63,0 м для выдвижения ствола, который обеспечил его вертикальность в процессе выдвижения, а также восприятие возникающих горизонтальных нагрузок. При этом технологический процесс подращивания элементов ствола (рис. 4) не имел принципиальных отличий от описанного при возведении базы «зонтиком», который выполнялся одновременно с возведением базы.

В связи с тем, что ствол башни заканчивался на отметке 64,0 м, для выдвижения его на проектную отметку потребовалось искусственное удлинение на восемь дополнительных ярусов, получивших название «хвостовик». Все размеры и геометрия яруса «хвостовика» были аналогичны ярусам ствола башни. Учитывая, что хвостовик является временной конструкцией, все его элементы были выполнены из обычной стали класса С-30 (пояса из труб, а решетка — из прокатных профилей). Масса «хвостовика» составила 155 т.

На этом этапе при первом подъеме масса выдвигаемого блока составляла 871 т, последний блок имел массу 1470 т. Выдвижение ствола башни продолжалось 140 рабочих дней, т. е. 6 дней на один 8-метровый ярус.

После окончания выдвижения ствола башни на проектную отметку 240,0 м была выполнена тщательная его выверка относительно вертикальной оси. Затем ствол с помощью листовых вставок на сварке закрепили к верхней панели базы.

Выдвижение антенны и шахты лифтов. Выдвижение антенны и шахты лифтов было осуществлено путем последовательного подъема непрерывно укрупняемого блока (рис. 5).

Согласно ППР антенна и шахта лифтов были разбиты на 13 монтажных блоков (на пять — антенна А1-А5 и восемь шахта лифтов Ш1-Ш8), соответственно этап выдвижения антенны и шахты лифтов имел 13 монтажных стадий подъема. Сущность способа монтажа на данном этапе заключалась в следующем.

Самый верхний блок антенны А1 поднимали на высоту, необходимую для свободной подстановки нижерасположенного блока А2. После оформления и сварки монтажного стыка блока А1 с А2 укрупненный блок антенны поднимали на высоту, необходимую для свободной подстановки следующего монтажного блока А3. При достижении проектного положения ствол антенны и шахты лифтов закрепляли на центральном

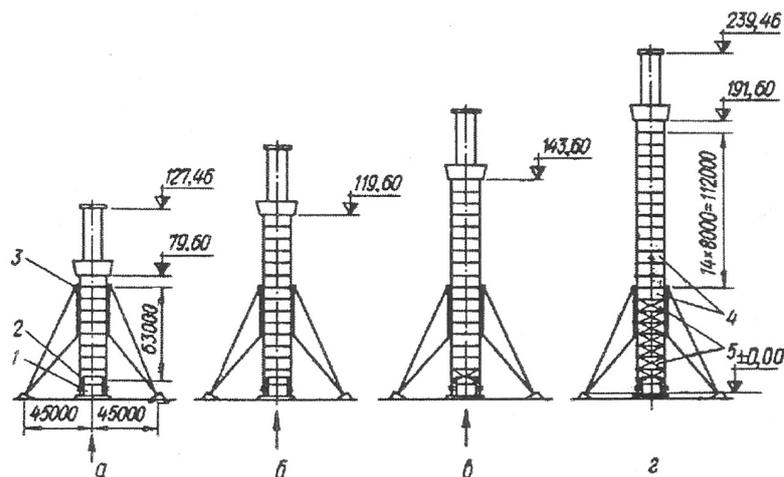


Рис. 4. Схема технологического процесса выдвижения ствола:

а — первоначальное положение ствола перед его выдвижением; б и в — промежуточные положения ствола в процессе выдвижения после подращивания соответственно пяти, семи ярусов ствола и одного яруса хвостовика; г — конечное (проектное) положение ствола после подращивания семи ярусов ствола и семи ярусов хвостовика; 1 — подъемно-сборочный агрегат АПС-8; 2 — нижнее рычажное направляющее устройство; 3 — верхнее рычажное направляющее устройство; 4 — подращиваемые ярусы ствола; 5 — подращиваемые ярусы хвостовика

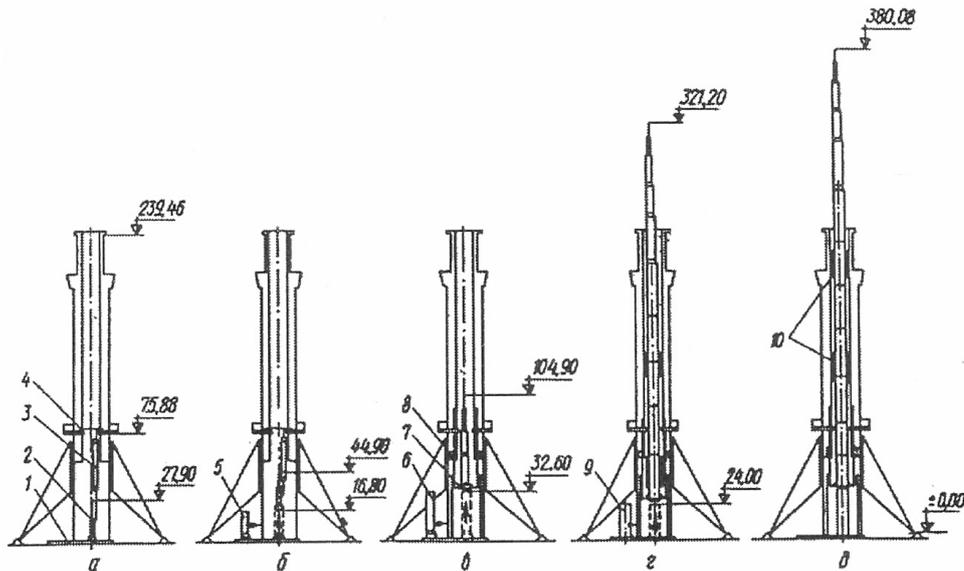


Рис. 5. Схема технологического процесса выдвигания антенны и шахты лифтов:

- а — первоначальное положение первого монтажного блока антенны А1 перед его подъемом полиспастом;
 б, в и г — промежуточные положения блоков антенны и шахты лифтов в процессе их выдвигания на различных монтажных стадиях подъема — соответственно в конце 1-й, 3-й и 9-й; д — конечное (проектное) положение блока антенны и шахты лифтов (13-я монтажная стадия подъема);
 1 — лист для надвигки монтажных блоков; 2 — блок антенны А1; 3 — подъемный полиспаст;
 4 — балки перекрытия нижнего технического здания (место строповки полиспаста); 5 — подача блока антенны А2 в зону монтажа; 6 — подача блока антенны А4 в зону монтажа; 7 — строповочный упор;
 8 — шаговый подъемный агрегат АПШ-3; 9 — подача блока шахты лифтов Ш15 в зону монтажа;
 10 — направляющие

фундаменте, а также в уровне верха ствола антенны «Алтай» и верхнего технического здания.

Перед подъемом были замерены высота последнего блока и расстояние между кольцами постоянного проектного закрепления антенны и отметкой 239,235 м. Блок установили на металлический лист для надвигки, на котором по окружности царги были уложены металлические подкладки высотой 250 мм. Последний подъем (рис. б) продолжался до тех пор, пока кольцо на царге не совпало с местом проектного закрепления на отметке 239,235 м. Масса последнего поднимаемого блока составила 715 т.

Затем демонтировали всю монтажную оснастку, балочную клетку, шаговый подъемный агрегат и установили последнюю горизонтальную диафрагму.

Новые технические решения предложенного способа возведения башни методом подращивания вызвали необходимость создания целого комплекса специального монтажного оборудования, технический и рабочий проекты которого были разработаны институтом «Укрмонтажоргстрой». Работа по его проектированию была не менее сложной, чем разработка способа и технологии монтажа.

Еще в начальной стадии проектирования башни велись поиски принципиальных технических решений способа осуществления ее монтажа методом подращивания, прорабатывались системы подъема в целом и входящие в них отдельные наиболее ответственные узлы специального монтажного оборудования.

При разработке систем подъема и специального монтажного оборудования конструкторам пришлось решить ряд сложных задач, связанных главным образом со спецификой принятого метода монтажа. Необходимо было обеспечить:

- надежную и безаварийную работу систем подъема на всех этапах строительства в любой период монтажного состояния;

- высокую точность сборки и сварки конструкций башни при непосредственном примыкании трубчатых элементов друг к другу и создать условия для их контроля;

- гарантированные величины монтажных воздействий на прочность и устойчивость конструкций башни в местах их соприкосновения (сочленения, контакта) с элементами монтажного оборудования;

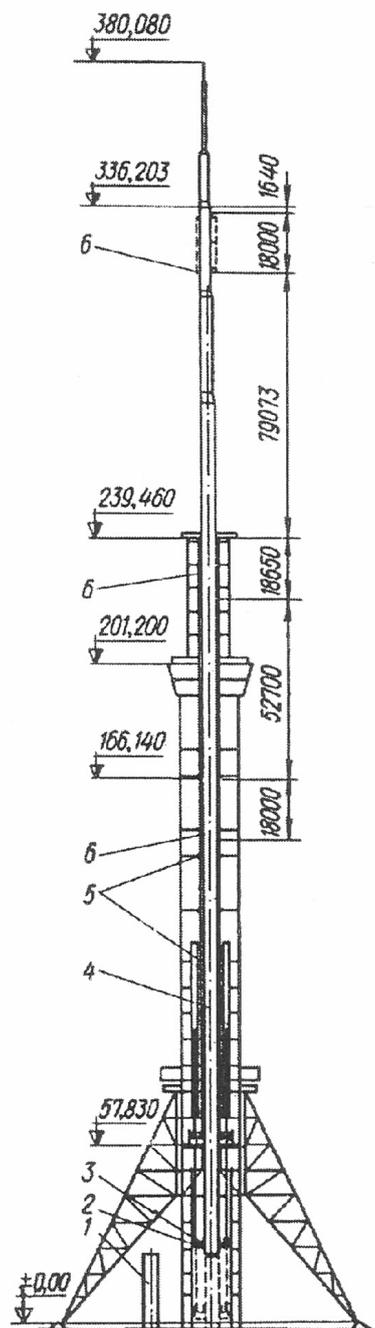


Рис. 6. Схема выдвигания последнего блока антенны и шахты лифтов Б13 (13-я монтажная стадия подъема):

1 — подача блока шахты лифтов Ш8 в зону монтажа; 2 — шаговый подъемный агрегат АПШ-3; 3 — строповочный упор; 4 — выдвигаемый блок Б13; 5 — монтажные упоры диафрагм ствола; 6 — направляющие

– максимальную унификацию монтажного оборудования с целью возможности его последовательного использования для всех трех этапов строительства башни;

– проведение предварительной сборки, наладки и испытания монтажного оборудования в возможно близких к реальным условиям его работы при монтаже башни.

В то же время при проектировании оборудования большое внимание было уделено упрощению его конструктивных решений и технологичности изготовления, чтобы его реализация была экономически оправдана.

Новизна и технические особенности сооружаемой башни и принятого способа не давали возможности использовать известные технические решения за исключением отдельных элементов и гидрооборудования. Поэтому еще на стадии проектирования башни изучались и анализировались имеющиеся технические решения для осуществления аналогичных или подобных задач с целью определения возможности хотя бы их частичного использования в дальнейших разработках. Поиски велись как по принципиальным решениям, определяющим общую компоновку и конструкцию агрегата или устройства в целом, так и по отдельным его узлам и механизмам. Особенно важно было найти наиболее надежный и безопасный механизм для подъема башни и выбрать его тип.

В процессе изучения и анализа условий монтажа башни на каждом этапе в соответствии с принципиальными схемами принятого метода было найдено комплексное решение этой проблемы путем создания для этапов возведения базы «зонтиком» и выдвигания ствола специального подъемно-сборочного агрегата АПС-S**.

Кроме того, для обеспечения устойчивости башни на этапе возведения базы «зонтиком» было предложено использовать опоры-ноги базы в качестве подвижных подпорок ствола, для чего было разработано специальное синхронизирующее-натяжное устройство СНУ-4.

Для обеспечения работы системы подъема на этапе выдвигания ствола, кроме агрегата АПС-S, были разработаны верхние рычажные направляющие устройства, устанавливаемые на отметке 72 м. На этапе выдвигания антенны и шахты лифтов для обеспечения работы системы подъема создан шаговый подъемный агрегат АПШ-3. Помимо этого, для придания направления и обе-

**А.с. № 417587. Бюллетень «Открытия, изобретения, промышленные образцы, товарные знаки», 1974, № 8.

спечения устойчивости выдвигаемого блока на нем были устроены направляющие, а на диафрагмах основного ствола башни и ствола антенны «Алтай» — направляющие упоры.

В процессе разработки способа монтажа и монтажного оборудования, учитывая их новизну и уникальность сооружения, появлялись дополнительные требования, направленные на повышение надежности и безопасности монтажа, которые учитывались на последующих стадиях проектирования оборудования или же вносились изменения в проект.

Подъемно-сборочный агрегат АПС-8 — это комплекс многоцелевого назначения с различными механизмами и устройствами (рис. 7), при проектировании которого конструкторам необходимо было учесть следующие факторы:

- удобство монтажа, высокую точность сборки и геометрию подращиваемых ярусов ствола башни при непосредственном примыкании трубчатых элементов друг к другу;
- возможность подъема выдвигаемого блока на высоту яруса — 8 м;
- синхронную работу домкратных установок, предусмотрев при этом возможность работы каждой в отдельности;
- восприятие горизонтальных нагрузок, возникающих в процессе возведения базы «зонтиком» и выдвигении ствола при рабочем ветре и при закреплении конструкций на случай ураганного ветра (нерабочее состояние);
- одновременное равномерное восприятие горизонтальных нагрузок всеми толкателями при их защемлении;
- недеформируемость контура поперечного сечения подращиваемого яруса в уровне опирания его на толкатели в периоды подъема при рабочем ветре и в нерабочем состоянии;
- направленное выдвигение базы и ствола при их подъеме;
- надежность домкратной установки, предусмотрев полуавтоматическое предохранительное устройство, препятствующее самопроизвольному опусканию домкратов и фиксирующее башню в любом промежуточном положении;
- восприятие возможного появления крутящего момента от башни на агрегат.

Подъемно-сборочный агрегат АПС-8 (рис. 8) включает несущую

опору-кондуктор, устанавливаемую на центральном фундаменте внутри подращиваемого ствола башни; восемь гидродомкратных установок, расположенных под каждым поясом башни по их осям и жестко связанных с опорой-кондуктором; восемь шаговых толкателей, шарнирно связанных с гидродомкратными установками; монтажную диафрагму, жестко соединяющую между собой все толкатели в местах опирания на них поясов ствола; восемь нижних рычажных направляющих устройств, закрепленных на опоре-кондукторе; гидронасосной станции с пультом управления и системы маслопроводов с гидроборудованием.

Агрегат обеспечивает возможность возведения многостоечной трубчатой башни большой высоты методом подращивания с выполнением всех сборочно-сварочных работ внизу на постоянных рабочих местах в полутеховых условиях, образуя вертикальную поточную линию производства работ по принципу конвейера.

В нем совокупно выполнены и использованы в неразрывной связи между собой сборочное приспособление с рабочими площадками для поэлементной сборки с обеспечением допусков требуемой геометрии подращиваемых ярусов, гидродомкратное устройство для подъема, направляющее устройство для подращиваемых конструкций при их подъеме и несущая опорная конструкция для восприятия горизонтальных нагрузок при монтаже.

Его максимальная грузоподъемность — 1470 тс при давлении в гидросистеме 330 кгс/см², номинальная грузоподъемность — 1340 тс при давлении в гидросистеме 300 кгс/см².

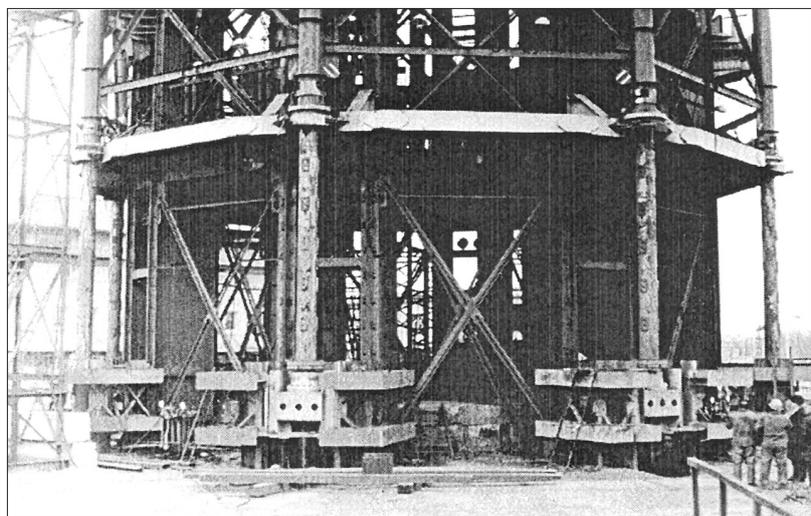


Рис. 7. Общий вид подъемно-сборочного агрегата ДПС-8

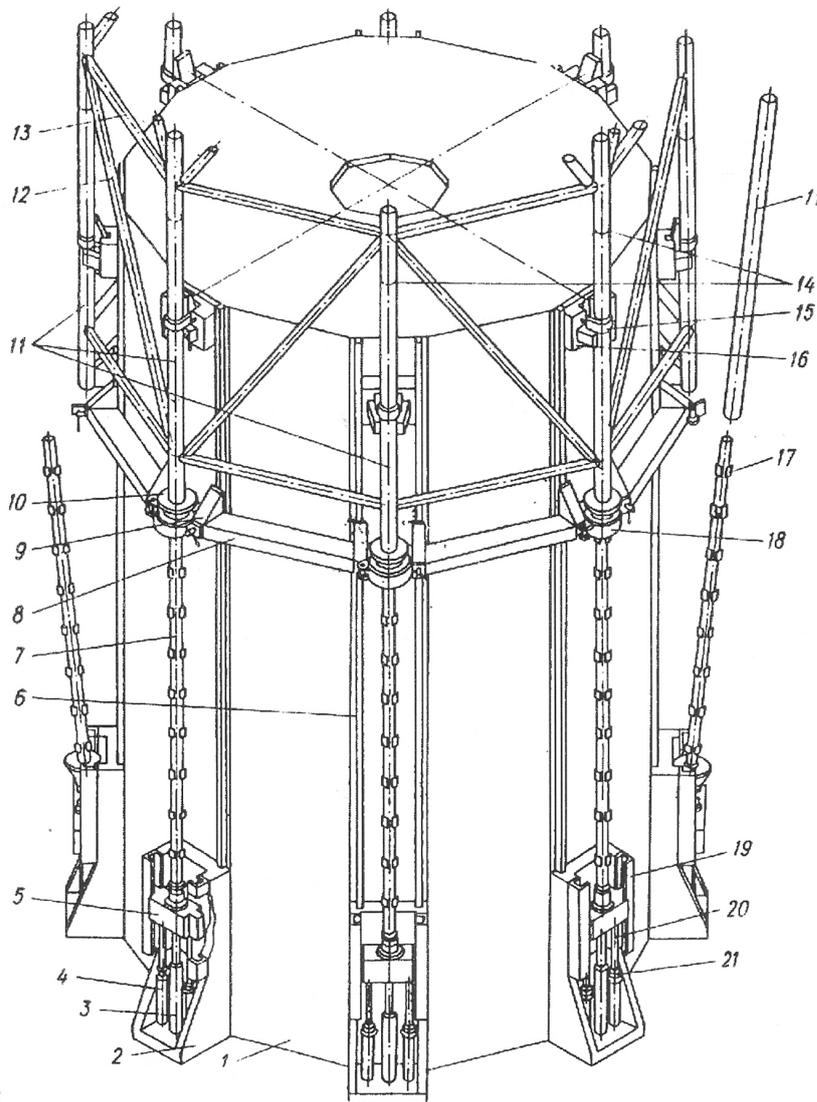


Рис. 8. Принципиальная схема подъемно-сборочного агрегата АПС-8:
 1 — опора-кондуктор;
 2 — гидродомкратная установка;
 3 — гидродомкрат ГД-170/1120;
 4 — трубчатая стойка;
 5 — наддамкратная балка;
 6 — направляющие рельсы;
 7 — шаговый толкатель;
 8 — монтажная диафрагма;
 9 — баишмак диафрагмы;
 10 — втулка-матрица толкателя;
 11 — трубы поясов ствола;
 12 — раскос ствола;
 13 — распорка ствола;
 14 — кольцевые сварные швы поясов ствола;
 15 — хомут нижнего направляющего устройства;
 16 — нижнее рычажное направляющее устройство;
 17 — верхний боковой упор толкателя;
 18 — хомут с фаркопами;
 19 — П-образная направляющая;
 20 — предохранительный винт;
 21 — гайка

Подъемно-сборочный агрегат АПС-8 был изготовлен по рабочим чертежам и техническим условиям, разработанным институтом «Укрмонтажоргстрой».

После изготовления узлов агрегата с целью подтверждения их работоспособности и эксплу-

атационной надежности наиболее ответственные из них были подвергнуты испытаниям в соответствии с разработанной программой и методикой, предусматривающими проведение испытаний в возможно близких к реальным условиям работы узлов агрегата при монтаже башни.

ПОДВОДНЫЕ НИТИ

(материал из журнала «Популярная механика», № 8, 2013)

ЕСТЬ ВЕЩИ, ПРО КОТОРЫЕ КАК НИ РАССКАЗЫВАЙ В САМЫХ ДОТРОШНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПОДРОБНОСТЯХ, ВСЕ РАВНО ОНИ НЕ ПЕРЕСТАНУТ ВЫЗЫВАТЬ ВОСХИЩЕНИЯ, ГРАНИЧАЩЕГО С ОЩУЩЕНИЕМ ЧУДА. К ТАКОВЫМ, БЕЗУСЛОВНО, ОТНОСЯТСЯ РАЗНОГО РОДА МЕГАСООРУЖЕНИЯ: НЕБОСКРЕБЫ, МОСТЫ, ТОННЕЛИ И, КОНЕЧНО ЖЕ, ТРУБОПРОВОДЫ, ПРОЛОЖЕННЫЕ ПО МОРСКОМУ ДНУ.

Текст: Олег Макаров

Как это возможно — уложить сотни километров стальных труб на огромную глубину, на дно со сложным рельефом? Как добиться, чтобы вся эта конструкция выдерживала огромное давление, не смещалась, не была уничтожена коррозией, выдерживала удары корабельных якорей и рыболовного снаряжения и, наконец, просто работала как надо? Самым свежим примером сооружения подводного мегатрубопровода стал знаменитый «Северный поток», пролеглий по балтийскому дну и соединивший российскую и немецкую газотранспортные системы. Две нитки труб, каждая длиной более 1200 км — почти 2,5 млн т стали, поглощенных морем по воле человека. Именно на примере «Северного потока»

мы попытаемся вкратце рассказать о технологиях создания подводных трубопроводов.

КАК УКУТЫВАЮТ СТАЛЬ

Две нитки газопровода состоят из 199755 двенадцатиметровых труб, сделанных из высокопрочной углеродистой стали. Но коль скоро речь идет о соприкосновении с такой химически агрессивной средой, как морская вода, металлу нужна защита. Для начала на внешнюю поверхность трубы наносят трехслойное покрытие из эпоксидного состава и полиэтилена — это делается прямо на заводе-производителе. Там же, кстати, трубу покрывают и изнутри, правда, задача внутреннего покрытия не в защите от коррозии, а в повышении пропускной способности



Из кормы трубоукладочного судна сваренные трубы выходят непрерывной плетью и укладываются на дно



Хорошо заметна специальная защита монтажных стыков. Когда секция закончена, к ней приваривается временная заглушка

газопровода. Красно-коричневая эпоксидная краска дает очень гладкую, глянцевую поверхность, снижающую, насколько это возможно, трение молекул газа о стенки трубы.

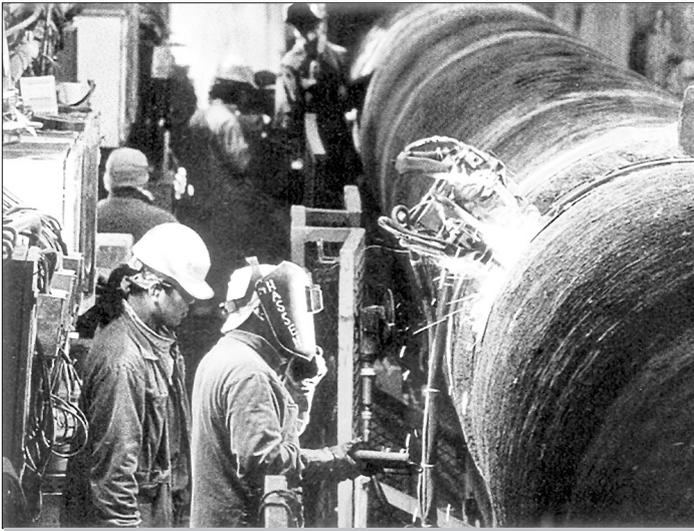
Можно ли укладывать такую трубу на морское дно? Нет, ее требуется дополнительно защищать и усиливать против давления воды и электрохимических процессов. На трубы устанавливают так называемую катодную защиту (наложение отрицательного потенциала на защищаемую поверхность). С определенным шагом к трубам приваривают электроды, соединенные между собой анодным кабелем, который связан с источником постоянного тока. Таким образом, процесс коррозии переносится на аноды, а в защищаемой поверхности проходит только неразрушающий катодный процесс. Но главное, что еще предстоит сделать с трубой, прежде чем она будет готова

опуститься на дно, — это обетонирование. На специальных заводах внешнюю поверхность трубы покрывают слоем бетона толщиной 60–110 мм. Покрытие армируется приваренными к корпусу стальными стержнями, в бетон добавляется наполнитель в виде железной руды — для утяжеления. После обетонирования труба при обретае вес около 24 т. У нее появляется серьезная защита против механических воздействий, а дополнительная масса позволяет ей стабильно лежать на дне.

КОВАРНОЕ ДНО

Но надо помнить, что дно даже такого сравнительно неглубокого моря, как Балтийское, не предоставит само по себе удобного и безопасного ложа для газопровода. Есть два фактора, которые неизбежно приходилось учитывать проектировщикам и строителям «Северного потока»: антропогенный и природный.

ТРУБЫ ВАРЯТ НА БОРТУ



Сварочная станция трубоукладочного судна Castoro Dieci. Сварные стыки пройдут процедуру неразрушающего ультразвукового контроля, затем их защитят с помощью термоусадочного полиэтиленового рукава, металлического кожуха и пеноматериала. Судно Castoro Dieci принадлежит итальянской компании Saipet и предназначено для прокладки участков трубопроводов на прибрежном мелководье. Фактически это плоскодонная несамоходная баржа, которая передвигается только с помощью буксира и якорной лебедки, однако точное позиционирование Castoro Dieci осуществляет самостоятельно за счет восьмиточечной системы якорей.

История судоходства в североевропейском регионе насчитывает тысячелетия, и потому на дне моря скопилось немало всевозможного мусора, а также обломков затонувших кораблей. XX век внес свой страшный вклад: на Балтике в ходе мировых войн велись активные боевые действия, устанавливались сотни тысяч морских мин, а по окончании войн в море же утилизировались боеприпасы, в том числе и химические. Поэтому, во-первых, при прокладке маршрута газопровода требовалось обходить выявленные скопления опасных артефактов, а во-вторых, тщательно обследовать зону прокладки, включая так называемый якорный коридор (по километру влево и вправо от будущей трассы), то есть зону, в которой бросали якоря суда, задействованные в строительстве. В частности, для мониторинга боеприпасов применялись корабли, оснащенные эхолокационным оборудованием, а также специальным донным роботом (ROV), связанным кабелем с базовой донной станцией TMS. При обнаружении боеприпасов (морские мины весьма чувствительны к движению) их подрывали на месте, предварительно обеспечив безопасность судоходства в заданном районе и приняв меры по отпугиванию крупных морских животных.

Второй фактор, природный, связан с особенностями рельефа дна. Дно моря сложено из различных пород, оно имеет выступающие гребни, впадины, расселины, и опускать трубы прямо на все это геологическое разнообразие не всегда возможно. Если допустить большое провисание

нити газопровода между двумя естественными опорами, конструкция может со временем разрушиться со всеми вытекающими из этого неприятностями. Поэтому донный рельеф для прокладки необходимо искусственным образом исправлять.

Если требовалось выровнять рельеф дна, использовалась так называемая каменная наброска. Специальное судно, нагруженное гравием и мелкими камнями, с помощью трубы, нижний конец которой оборудован соплами, «прицельно» заполняло полости дна, придавая ему более подходящий профиль. Иногда вместо камней вниз опускались целые бетонные плиты. Другой вариант — выкапывание в дне траншеи для прокладки труб. Логично, предположить, что создание траншей предшествовало прокладке труб, однако далеко не всегда это происходило именно так. Существует техническая возможность стабилизации положения нитки на дне уже тогда, когда трубопровод проложен (при условии, что глубина моря в данной точке не превышает 15–20 м). В этом случае с судна на дно опускается траншекопатель, имеющий роликовые захваты. С их помощью трубопровод приподнимается со дна, и под ним пропахивается траншея. После проведения этой операции трубы укладываются в получившееся углубление.

Сыпать тяжелый грунт на дно можно не всегда: масса гравия продавливает мягкие породы. В этом случае для спрямления рельефа используют более легкие опоры из металлических или пластиковых конструкций.

ПОДВОДНАЯ БУКВА

Теперь, пожалуй, самое интересное: как трубы оказываются на дне? Разумеется, сложно себе представить, что каждая отдельная 12-метровая труба приваривается к нитке газопровода прямо в море на глубине. Значит, эту процедуру необходимо проделывать до укладки. Что, собственно, и происходит на борту трубоукладочного судна. Тут необходимо ненадолго вернуться к конструкции самой трубы и заметить, что после нанесения на нее антикоррозионной защиты и утяжеляющего бетонирования оконцовки труб остаются открытыми и незащищенными, — иначе сварка была бы затруднена. Поэтому участки соединений защищаются от коррозии уже после сварки. Сначала монтажные стыки изолируются с помощью полиэтиленового термоусадочного рукава, затем закрываются металлическим кожухом, а полость между кожухом и рукавом заполняется

полиуретановой пеной, придающей месту стыка необходимую механическую прочность.

Далее происходит укладка S-образным способом. Сваренная из труб плеть приобретает в процессе укладки форму, напоминающую латинскую букву S. Плеть под небольшим углом выходит из кормы корабля, достаточно резко опускается вниз и достигает дна, где принимает горизонтальное положение. Труднее всего представить себе, что нить из стальных, покрытых бетоном 24-тонных труб способна к таким резким изгибам без разрушения, однако все происходит именно так. Разумеется, для того чтобы плеть не сломалась, применяются разнообразные технологические хитрости. За трубоукладочным судном на десятки метров тянется стингер — специальное ложе, уменьшающее радиус наклона уходящей вниз плети. На судне также установлено натяжное устройство, прижимающее трубы книзу и снижающее

ПРОКЛАДКА «СЕВЕРНОГО ПОТОКА» С ПОМОЩЬЮ СУДНА CASTORO SEI

КОРМА ТРУБОУКЛАДОЧНОГО СУДНА СО СТИНГЕРОМ – специальным желобом, увеличивающим радиус сгиба укладываемой нитки. Благодаря стингеру буква S обретает более плавные очертания.

ИДУЩЕЕ СЛЕДОМ СУДНО ПРОВЕРЯЕТ ТОЧНОСТЬ УКЛАДКИ

СТИНГЕР ПОДДЕРЖИВАЕТ НИТКУ ГАЗОПРОВОДА

ДИСТАНЦИОННЫЙ ДОННЫЙ РОБОТ ROV ОБСЛЕДУЕТ ТРУБЫ

КАМЕННАЯ НАБРОСКА ИЗ КРУПНОЙ ГАЛЬКИ

ДВА РЕЛЬСОВЫХ КРАНА ПОДНИМАЮТ НА БОРТ 200 ТРУБ В СУТКИ

ТРАНСПОРТНОЕ СУДНО ДЛЯ ДОСТАВКИ ТРУБ

НА СТАНЦИИ СВАРКИ ДВЕ ТРУБЫ СВАРИВАЮТСЯ В ОДНУ ПЛЕТЬ

ТРУБЫ ВЫГРУЖАЮТСЯ НА ТРУБОУКЛАДОЧНОЕ СУДНО

ДЛЯ ПОДГОТОВКИ К СВАРКЕ ТОРЕЦ ПЛЕТИ НАГРЕВАЮТ

ДУХТРУБНАЯ ПЛЕТЬ СВАРИВАЕТСЯ С ОСНОВНОЙ НИТКОЙ

КАЖДЫЙ СВАРНОЙ СТЫК ПОДВЕРГАЕТСЯ НЕРАЗРУШАЮЩЕМУ ИСПЫТАНИЮ

ТРУБЫ ГОТОВЯТ К СВАРКЕ: ОБРАБАТЫВАЮТ ТОРЦЫ И ПРОДУВАЮТ

НОВЫЙ СВАРНОЙ СТЫК ТАКЖЕ ПРОВЕРЯЕТСЯ УЛЬТРАЗВУКОМ

СТЫК ЗАЩИЩАЕТСЯ ТЕРМОУСАДОЧНОЙ МАНЖЕТОЙ

В процессе трубоукладки устойчивость судна Castoro Sei обеспечивают 12 якорей. Каждый из якорных канатов управляется лебедкой, создающей постоянное натяжение. Судно также оснащено двигателями для более точного позиционирования.

1 ОБРАБОТКА ТОРЦОВ

2 СВАРКА

3 СВАРКА

4 УЛЬТРАЗВУК

5 НАГРЕВ

6 СВАРКА

7 УЛЬТРАЗВУК

8 ПОЛИУРЕТАНОВАЯ ПЕНА ФОРМА

нагрузки на изгибы. Наконец, система позиционирования точно контролирует положение судна, исключая рывки и резкие смещения, способные повредить трубопровод. Если укладку почему-либо требуется прервать, вместо очередной трубы к плети приваривают герметичную заглушку с креплениями и плеть «сбрасывают» на дно. При возобновлении работ другой корабль подцепит заглушку тросом и вытянет плеть обратно наверх.

ГАЗОПРОВОД – ВОДОПРОВОД

И все же без подводной сварки не обошлось. Дело в том, что каждая из ниток «Северного потока» состоит из трех секций. Различие между секциями — разная толщина стенок используемых труб. Пока газ идет от терминала в российской бухте Портовая к приемному терминалу на немецком берегу, давление газа постепенно падает.

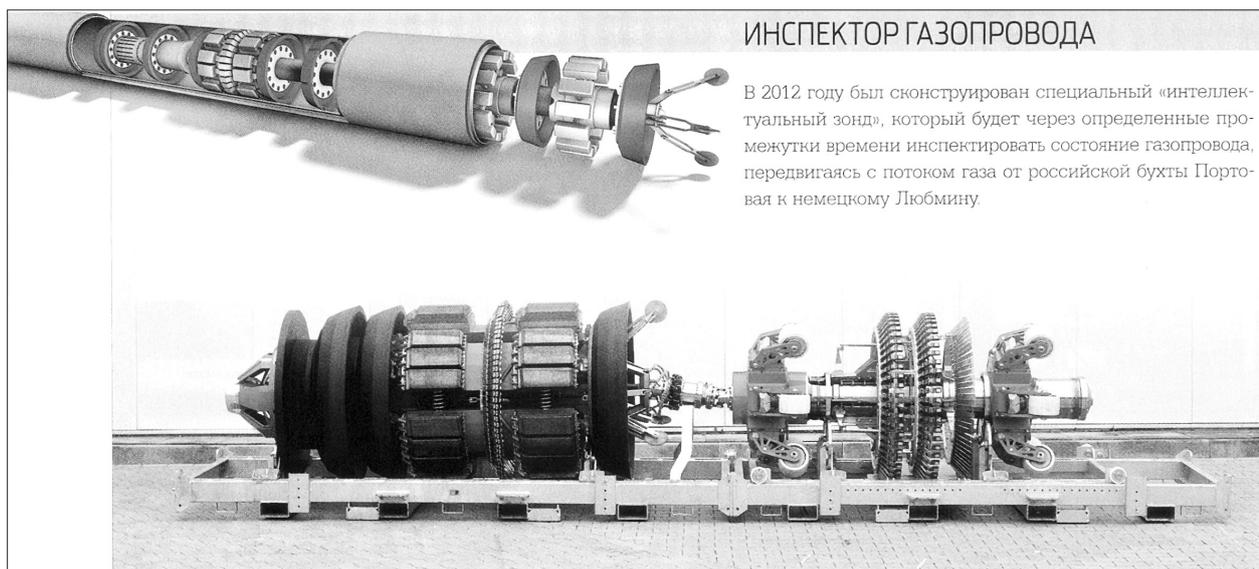
Это дало возможность использовать в центральной и финальной секциях более тонкостенные трубы и таким образом экономить металл. Вот только обеспечить соединение разных труб на борту трубоукладочных судов не представляется возможным. Сочленение секций происходило уже на дне — в гидроизолированной сварочной камере. Для этого на дно опускались трубоподъемные механизмы, которые отрывали от дна и точно позиционировали друг напротив друга плети отдельных секций. Для той же цели применялись надувные мешки с переменной плавучестью, обеспечивавшие вертикальные перемещения труб. Термобарическая сварка велась в автоматическом режиме, однако наладка оборудования сварочной камеры — сложнейшая водолазная операция. Для ее проведения под воду

опускалась водолазная камера, где могла проходить декомпрессию целая бригада водолазов, и специальный колокол для спуска ко дну. Сварка секций проводилась на глубине 80–110 м.

Прежде чем использовать газопровод для перекачки топлива, его испытывали... водой. Еще до термобарической сварки каждая секция трубопровода прошла суровое испытание. Внутри секций с помощью поршневого модуля была закачана предварительно отфильтрованная от взвесей и даже бактерий морская вода. Жидкость, нагнетаемая со специального судна, создавала внутри плети давление, превышающее рабочее, и такой режим поддерживался в течение суток. Затем вода откачивалась, и секция газопровода осушалась. Еще до того, как в трубопроводе появился природный газ, его трубы заполнялись азотом.

Прокладка газопровода по морскому дну — лишь часть проекта «Северный поток». Немало усилий и затрат потребовалось для оборудования береговой инфраструктуры. Отдельная история — это вытягивание нитки газопровода на берег с помощью мощной лебедки или создание механизма компенсации сезонного сжатия – расширения 1200-километровой нитки.

Строительство «Северного потока» вызвало немало дискуссий на разные околополитические темы — от экологии до чрезмерной роли сырьевого экспорта в экономике России. Но если абстрагироваться от политики, нельзя не заметить: трансбалтийский газопровод — отличный пример того, как продвинутые технологии и международная кооперация способны творить современные чудеса во вполне рабочем рутинном режиме.



ИНСПЕКТОР ГАЗОПРОВОДА

В 2012 году был сконструирован специальный «интеллектуальный зонд», который будет через определенные промежутки времени inspectировать состояние газопровода, передвигаясь с потоком газа от российской бухты Портовая к немецкому Любмину.

УДК 536.423.4

НОВЫЙ СПОСОБ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ЭЖЕКЦИОННЫХ ГРАДИРЕН

А.А. Бринь, А.И. Петручик

Институт теплообмена им. А.В. Лыкова

Одной из основных задач, стоящих в настоящее время перед промышленностью, является экономия энергетических ресурсов и снижение материалоемкости оборудования. В этом смысле перспективностью использования эжекционных градирен для охлаждения оборотной воды отмечалась многими авторами [1–5]. На сегодняшний день эжекционные градирни широко применяются в различных отраслях промышленности за рубежом [6–8].

Принцип работы эжекционной градирни показан на рис. 1.

Охлаждаемая вода в ней под давлением 0,5–4,0 кгс/см² подается в распылители, установленные в воздухоподъемных окнах. Мелкодисперсные капли воды равномерно заполняют освобож-

денное от оросителя пространство градирни. Теплообмен между водой и воздухом происходит на высокоразвитой поверхности капель. Теплый и влажный воздух поднимается вверх, а охлажденная вода собирается в водосборном бассейне. При этом скоростной поток капель эжектирует окружающий воздух внутрь градирни, создавая дополнительный приток охлаждающего воздуха.

Таким образом, эжекционные градирни могут работать без вентилятора, оросителя и других элементов, что позволяет в ряде случаев создать простые по конструкции устройства для охлаждения воды. При высоких требованиях к охлаждению необходима установка вентилятора и каплеуловителя. Преимущество схем таких градирен как с вентилятором, так и без него состоит в отсутствии оросителя, что актуально для предприятий металлургии и нефтехимии.

Одним из перспективных методов исследования и расчета эжекционных градирен является математическое моделирование. В основе разработанной математической модели лежат полученные ранее авторами модели испарительного охлаждения капель воды [9–11]. Данные модели с высокой точностью описывают процессы тепло- и массообмена падающих в потоке воздуха капель воды. Для математического моделирования процессов в эжекционной градирне требуется дополнительно учесть специфику гидродинамических и аэродинамических процессов.

Как и в моделях [9–11], выберем ось z вертикально вниз. При этом значение для скорости капель, движущихся вверх, будет отрицательным, а для капель движущихся вниз — положительным. Математическая модель представляет собой систему из восьми обыкновенных дифференциальных уравнений:

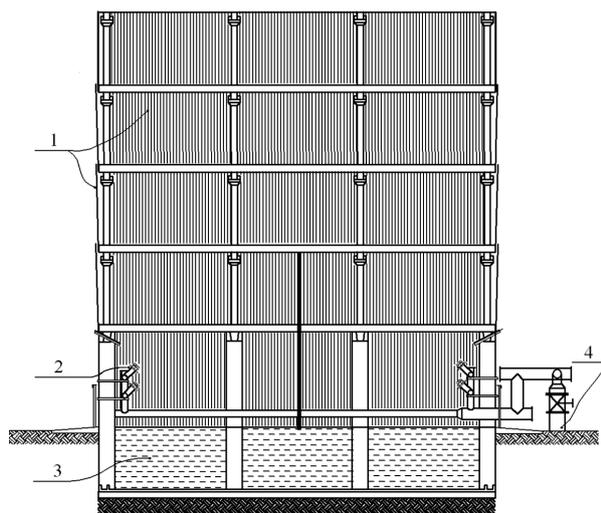


Рис. 1. Схема эжекционной градирни:
1 — обшивка, 2 — распылители воды;
3 — водосборный бассейн,
4 — подводящий трубопровод

уравнение, описывающее изменение радиуса движущейся вверх капли $R_1(z)$, вследствие ее испарения:

$$\frac{dR_1(z)}{dz} = -\frac{\gamma(Re)[\rho_s(T_1(z)) - \rho_v(z)]}{\rho_w v_1(z)}, \quad (1)$$

где $\rho_v(z)$ — плотность паров воды в воздухе в зависимости от координаты z .

Уравнение, описывающее изменение радиуса движущейся вниз капли $R_2(z)$, вследствие ее испарения:

$$\frac{dR_2(z)}{dz} = -\frac{g(Re)[r_s(T_2(z)) - r_v(z)]}{r_w v_2(z)}, \quad (2)$$

уравнение, определяющее изменение скорости $v_1(z)$ движущейся вверх капли:

$$\frac{dv_1(z)}{dz} = \frac{g}{v_1(z)} - C(Re) \cdot \frac{\rho_a [v_1(z) - v_a]^2}{2v_1(z)} \cdot \frac{\pi R_1(z)^2}{m}; \quad (3)$$

уравнение, определяющее изменение скорости $v_2(z)$ движущейся вниз капли:

$$\frac{dv_2(z)}{dz} = \frac{g}{v_2(z)} - C(Re) \cdot \frac{\rho_a [v_2(z) - v_a]^2}{2v_2(z)} \cdot \frac{\pi R_2(z)^2}{m}; \quad (4)$$

уравнение, описывающее изменение средней по объему температуры $T_1(z)$ движущейся вверх капли:

$$\frac{dT_1(z)}{dz} = -\frac{3\{\alpha(Re)[T_1(z) - T_a(z)] + \gamma(Re)r[\rho_s(T_1(z)) - \rho_v(z)]\}}{c_w \rho_w R_1(z) v_1(z)}; \quad (5)$$

уравнение, описывающее изменение средней по объему температуры $T_2(z)$ движущейся вниз капли:

$$\frac{dT_2(z)}{dz} = -\frac{3\{\alpha(Re)[T_2(z) - T_a(z)] + \gamma(Re)r[\rho_s(T_2(z)) - \rho_v(z)]\}}{c_w \rho_w R_2(z) v_2(z)}; \quad (6)$$

уравнение для расчета изменения температуры паровоздушной смеси $T_a(z)$ с учетом теплообмена капель, движущихся как вверх, так и вниз:

$$\frac{dT_a(z)}{dz} = \frac{4\pi R_1(z)^2 N_d}{\rho_a c_a (v_1(z) - |v_a|)} [\alpha(Re)[T_a(z) - T_1(z)]] + \frac{4\pi R_2(z)^2 N_d}{\rho_a c_a (v_2(z) - |v_a|)} [\alpha(Re)[T_a(z) - T_2(z)]]; \quad (7)$$

уравнение для описания изменения плотности паров воды $\rho_v(z)$ в воздухе с учетом массообмена капель, движущихся как вверх, так и вниз:

$$\frac{d\rho_v(z)}{dz} = -\frac{4\pi R_1(z)^2 N_d}{v_1(z) - |v_a|} \gamma(Re)[\rho_s(T_1(z)) - \rho_v(z)] - \frac{4\pi R_2(z)^2 N_d}{v_2(z) - |v_a|} \gamma(Re)[\rho_s(T_2(z)) - \rho_v(z)], \quad (8)$$

где ρ_v и ρ_s — плотность паров и плотность насыщенных паров воды в воздухе соответственно.

В отличие от моделей [9–11] для эжекционной градирни граничные условия к системе (1)–(8) задаются отдельно для капель, движущихся вверх и падающих вниз. Начальная скорость капель, движущихся вверх, определялась с учетом расхода воды, определяемого давлением воды перед распылителем и диаметром выходного отверстия распылителя. Начальная скорость падающих капель воды принималась равной 0,001 м/с. Для численного решения используется итерационная процедура, в результате которой уточняются температура капель воды в верхней точке, высота области движения капель и профили температуры паровоздушной смеси и плотности водяных паров в зоне тепло- и массообмена.

Решение системы реализовывалось в среде MathCAD 14 методом Рунге–Кутты и представлялось в виде графиков зависимости искомых величин, входящих в систему (1)–(8), от вертикальной координаты z .

По разработанной выше математической модели (1)–(8) были выполнены численные расчеты. Эффективность работы градирни характеризуется безразмерным параметром

$$\eta = \frac{T_{w0} - T_{w.f}}{T_{w0} - T_{lim}}, \quad (9)$$

где T_{w0} — температура воды на входе в градирню; $T_{w.f}$ — температура воды на выходе из градирни; T_{lim} — температура мокрого термометра. Расчеты показали, что тепловая эффективность эжекционной градирни, характеризуемая безразмерным параметром η , для данных расчетных условий составляет ~0,4 и является линейной функцией от отношения T_{w0}/T_{lim} .

Проведем сравнение результатов расчета температуры охлажденной воды и требований, предъявляемых к охлаждению воды в градирнях различных типов. На рис. 2 показана зависимость температуры охлажденной воды в эжекционной градирне $T_{w.f}$ от температуры мокрого термометра T_{lim} для двух значений скорости восходящего воздушного потока $v = 1$ м/с (кривая 1) и $v = 2$ м/с (кривая 2), что соответствует безвентиляторному (естественная конвекция) и вентиляторному (вынужденная конвекция) режимам работы.

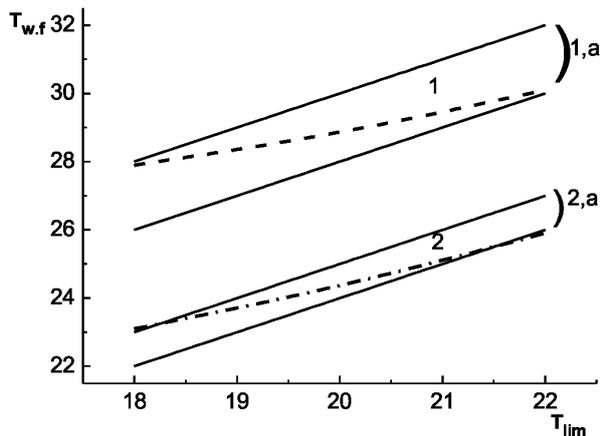


Рис. 2. Расчетные зависимости температур охлажденной воды в эжекционной градирне от температуры мокрого термометра для двух значений скоростей воздуха в градирне: 1 — скорость воздуха 1 м/с; 2 — 2 м/с; область 1,а соответствует проектным требованиям к охлаждению воды в башенных градирнях; 2,а — проектным требованиям к охлаждению воды в вентиляторных градирнях

На графике показаны также области значений температуры охлажденной воды согласно требованиям СНиП 2.04.02-84. Область 1, а соответствует требованиям, предъявляемым к температуре охлажденной воды в башенной градирне, а область 2, а — в вентиляторной градирне. Видно, что расчетная температура охлажденной воды в эжекционной градирне при скорости воздуха 1 м/с (естественная конвекция) соответствует требованиям к температуре охлажденной воды в башенной градирне, а при скорости 2 м/с (вынужденная конвекция) — соответствует требованиям, предъявляемым к температуре охлажденной воды в вентиляторной градирне. Кроме того, наибольшее соответствие имеет место при температуре мокрого термометра 20 °С, что соответствует среднестатистическим метеоусловиям и средним тепловым и гидравлическим нагрузкам.

На рис. 3 показана зависимость к.п.д. градирни η от отношения удельных объемных расходов воды и воздуха q_w/q_a .

Как видно из рисунка, зависимость η от q_w/q_a является убывающей функцией, причем тепловой к.п.д. градирни при организации течений воды и воздуха, имеющей место в градирне, не стремится к единице даже при существенном увеличении расхода воздуха или уменьшении расхода воды. Следует отметить, что более высокие значения к.п.д. в силу определения этой величины как сте-

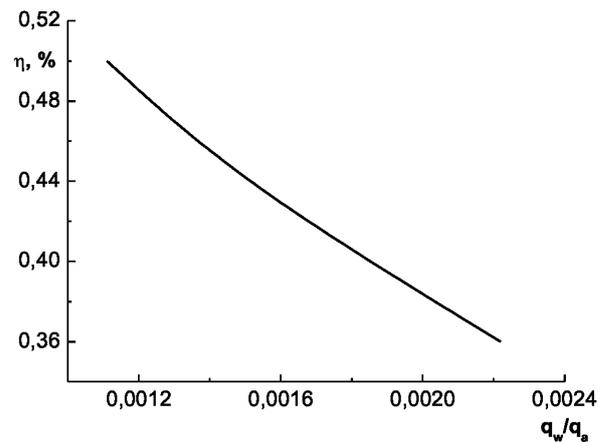


Рис. 3. Зависимость к.п.д. градирни η от отношения удельных объемных расходов воды и воздуха q_w/q_a . Зависимость получена для плотности орошения 5 м³/(м²×ч)

пени приближения температуры охлажденной воды к температуре мокрого термометра соответствуют более низким величинам начальной температуры воды и высоким значениям температуры воздуха по сухому или мокрому термометрам.

В эжекционной градирне [12] отсутствует ороситель, может отсутствовать вентилятор и каплеуловитель, при этом вода подается в распылители, установленные в воздухоходных окнах; при этом факел распыла направлен перпендикулярно грани внутрь градирни. Таким образом, стоит задача создать устойчивое восходящее вихревое течение воздуха во всем внутреннем пространстве эжекционной градирни.

Задача решается расположением разбрызгивающих форсунок в плане не перпендикулярно грани градирни, а под углом к ней. Таким образом, формируется устойчивое вихревое течение воздуха в эжекционной градирне, в меньшей степени подверженное влиянию ветра, увеличивается расход воздуха через градирню, улучшается равномерность поступления воздуха по площади орошения, уменьшаются безвозвратные потери воды, связанные с ее уносом в капельной форме.

Результаты численного моделирования показали, что тепловая эффективность эжекционной градирни для расчетных условий составляет ~0,4 и является линейной функцией от отношения T_{w0}/T_{lim} . Экспериментально измеренный диапазон величины перепада температуры воды в эжекционной градирне изменяется от 2 до 17 °С. Различие между расчетными и экспериментальными данными не превышает 10 % и уменьшается с ростом давления воды в системе водораспределения пе-

ред распыливающим устройством. Установлено, что при переходе от естественной к вынужденной конвекции эффективность работы эжекционной градирни возрастает на 20–40 % в зависимости от начальной температуры воды и гидравлической нагрузки. Полученные результаты способствуют разработке нового способа повышения эффективности эжекционной градирни, что в конечном итоге существенно повысит экономический эффект, улучшит работу основного оборудования, уменьшит выброс вредных веществ в окружающую среду, снизит безвозвратные потери воды, связанные с уносом воды в капельной форме при модернизации градирен с переводом их на эжекционный способ охлаждения.

Обозначения:

C — коэффициент аэродинамического сопротивления; c — удельная теплоемкость; g — ускорение свободного падения; Re — число Рейнольдса; m — масса; N_d — число капель в единице объема; R — радиус; r — скрытая теплота парообразования; T — температура; v — скорость; z — координата; α — коэффициент теплообмена; γ — коэффициент массообмена; η — коэффициент полезного действия; ρ — плотность. Индексы: \lim — предельное значение; a — воздух; d — капля; f — конечное значение; s — насыщенный; v — пар; w — вода; 0 — начальное значение; 1 — капли движутся вверх; 2 — капли движутся вниз.

Литература

1. Галустов, В.С. Повышение эффективности систем охлаждения оборотной воды / В.С. Галустов, А.И. Чуфаровский // Информационный бюллетень по водному хозяйству. — М.: Издательство управления делами Секретариата СЭВ. — 1984. — № 1. — С. 27–31.
2. Свердлин, Б.Л. Опыт внедрения эжекционных градирен в системах оборотного водоснабжения с нестандартными условиями эксплуатации / Б.Л. Свердлин, Б.В. Букинга // Изв. ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева. — 2000. — Т. 236. — С. 219–224.
3. Гончаров, А.В. Натурные исследования башенной брызгальной градирни ТЭЦ Волжского автозавода / А.В. Гончаров // Изв. ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева. — 2000. — Т. 236. — С. 242–247.
4. Есть ли перспектива у градирни с распылительными форсунками? В.В. Зеленцов [и др.] // ВСТ: Водоснабжение и санитар. техника. — 2001. — № 5, ч. 1. — С. 12–15.
5. Галустов, В.С. Прямоточные распылительные аппараты в теплоэнергетике / В.С. Галустов. — М.: Энергоатомиздат, 1989.
6. Yajima, S. Experimental performance of the shower cooling tower in Japan / S. Yajima // Renewable Energy. — 1996. — Vol. 10, No. 2–3. — Pp. 179–183.
7. Kaiser, A.S. Numerical model of evaporative cooling processes in a new type of cooling tower / A.S. Kaiser, M. Lucas // Int. J. Heat Mass Transfer. — 2005. — Vol. 48. — Pp. 986–999.
8. Qi, X. Performance characteristics of a shower cooling tower / X. Qi // Energy Conversion and Management. — 2007. — Vol. 48. — Pp. 193–203.
9. Солодухин, А.Д. Математическое моделирование охлаждения капельных и пленочных течений воды в башенных испарительных градирнях / А.Д. Солодухин, С.П. Фисенко, А.И. Петручик // ИФЖ. — 2001. — Т. 74, № 1. — С. 45–49.
10. Fisenko, S.P. Evaporative cooling of water in a natural draft cooling tower / S.P. Fisenko, A.I. Petruchik, A.D. Solodukhin // Int. J. Heat Mass Transfer. — 2002. — Vol. 45. — Pp. 4683–4694.
11. Бринь, А.А. Математическое моделирование испарительного охлаждения воды в вентиляторной градирне / А.А. Бринь, А.И. Петручик, С.П. Фисенко // ИФЖ. — 2002. — Т. 75, № 6. — С. 68–73.

РЕСПУБЛИКАНСКОЕ УНИТАРНОЕ ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ «ГРАНИТ»

Баранова М.Д., Туровец С.П.

Республиканское унитарное производственное предприятие «Гранит» — одно из крупнейших в Европе предприятие по добыче и переработке плотных горных пород. В семидесятые годы прошлого столетия в Полесской глубинке геологи обнаружили крупнейшее месторождение природного камня, скалы, поднимающиеся из-под земли, укрытое небольшим слоем песка. Началась добыча и переработка гранитной горной массы в щебень.

Сегодня предприятие выпускает более 18 млн т нерудных материалов в год следующих фракций:

– щебень:

1) 5–10 мм, 5–20 мм, 10–20 мм, 20–40 мм — ГОСТ 8267-93;

2) 25–60 мм — Гост 7392-2002;

3) 5–10 мм — СТБ 1311-2002.

– отсеv из материалов дробления горных пород — ТУ ВУ200161167.003-2010;

– песок из отсеvов дробления — ГОСТ 8736-93:

1) с крупностью зерен до 5 мм;

2) с крупностью зерен до 2,5 мм.

– крупный заполнитель:

1) $\frac{4}{8}$ мм, $\frac{4}{16}$ мм, $\frac{16}{31,5}$ мм по СТБ ЕН 12620-2010.

РУПП «Гранит» было введено в эксплуатацию в 1975 г. Строительство предприятия было обусловлено бурным развитием в начале 60-х гг. промышленного и жилищного строительства, реконструкцией железных дорог и прокладкой разветвленной сети автомобильных дорог с твердым покрытием. В те годы Республике было необходимо ежегодно до 12 млн м³ нерудных строительных материалов, в том числе щебня – до 8 млн м³. Щебень для строительных работ завозился с небольших предприятий Украины, которые не могли удовлетворить потребность Республики в этих материалах.



Исходя из вышесказанного, распоряжением Совета Министров БССР от 23 сентября 1964 г. на основании данных Южной Белорусской экспедиции, подтверждающих большие запасы строительного камня, был утвержден акт выбора площадки в Микашевичах (Брестская область) для проектирования комбината нерудных материалов мощностью 16 млн м³ щебня в год.

Проектирование комбината нерудных материалов в Микашевичах осуществлял Ленинградский институт «Союзгипронеруд», имеющий большой опыт в создании предприятий строительной индустрии. К концу 1969 г. проектное задание было разработано и утверждено Министерством строительных материалов СССР.

Предприятие создавалось на базе карьера «Микашевичи» и дробильно-сортировочного завода по переработке строительного камня.

17 октября 1973 г. был произведен первый взрыв мощностью не более двух тонн взрывчатого вещества (в настоящее время производятся взрывы мощностью до 100 т и более), но именно он возместил о рождении крупнейшего карьера в Белоруссии.

29 декабря 1975 г. сдана первая очередь завода.
28 октября 1976 г. — вторая очередь завода.
19 сентября 1977 г. — третья очередь завода.
1986 г. — четвертая технологическая линия.

Географическое положение предприятия позволяло отправлять продукцию железнодорожным, автомобильным и водным транспортом.

В 1980–1981 гг. по данным детальной доразведки были определены промышленные запасы месторождения в объеме 365 млн м³, что обеспечивает работу РУПП «Гранит» при действующих мощностях на 40 лет.

В 2008 г. введена в эксплуатацию линия по переработке щебня фракции 20...40 мм для получения кубовидного щебня и линия по переработке отсевов из материалов дробления с классификацией по трем группам.

В 2011 г. на предприятии введена в строй пятая технологическая линия. С ее пуском утвержденная мощность по щебню составила 16 тыс. т в год.

11 июля 2012 г. создан филиал «Диорит» РУПП «Гранит» с целью реализации инвестиционного проекта «Строительство горно-обогатительного комбината на базе месторождения «Ситницкое» производственной мощностью по щебню 9 млн т.

РУПП «Гранит» — многофункциональный технологический комплекс. Технологический процесс производства щебня и отсева сосредоточен в трех основных структурных подразделениях:

- карьер «Микашевичи»;
- автотранспортное предприятие;
- дробильно-сортировочный завод.

Литейно-механический завод выпускает запасные части для нужд предприятия.

Слаженная работа всей технологической цепочки позволяет получать щебень улучшенного качества.

На предприятии в 2003 г. разработана, внедрена и сертифицирована система менеджмента качества в соответствии с требованиями международного стандарта ИСО9001-2000.

В 2009 г. на РУПП «Гранит» разработана и внедрена система управления охраной труда (СУОТ) в соответствии с требованиями СТБ 18001-2009.

В 2011 г. на РУПП «Гранит» разработана, внедрена и сертифицирована система управления окружающей средой в соответствии с требованиями СТБ ИСО14001-2005 №ВУ/11206.01.08700260 от 28.07.2011 г.

В 2011 и 2012 гг. предприятие удостоено звания лауреата конкурса «Лучшие товары Республики Беларусь».

Процесс добычи полезных ископаемых в карьере «Микашевичи» состоит из трех этапов:

- вскрытие полезных ископаемых (цех Вскрыши);
- подготовка горной породы к выемке (цех Буровзрывных работ);
- погрузка взорванной горной массы в автотранспорт, откачка притока грунтовых вод (цех Добычи).

Цех Вскрыши занимается удалением вскрышных пород (растительный слой, песчаная вскрыша, скальная вскрыша) для вскрытия полезного ископаемого. Вскрышные породы отгружаются в автотранспорт для вывозки во внешние отвалы. Мощность, удаляемых вскрышных пород, составляет от 8 до 60 м.

Применяемая техника: экскаваторы — ЭШ11/70, ЭКГ-5А, ЭДГ-3,2-30; бульдозеры — Т-330, Т-25, БелАЗ-7822; погрузчик — БелАЗ-7823.

Цех Буровзрывных работ (БВР) производит бурение скважин диаметром 250 мм, 244,5 мм, 215 мм; бурение шпуров диаметром 40 мм в негабаритных кусках, их последующую зарядку взрывчатыми веществами и взрывание монолита и негабаритных кусков.

За год производится более 100 взрывов.

В цехе применяются буровые станки СБШ-250МНА-35, автотракторная и бульдозерная техника, а также автомобили для зарядки и забойки скважин.

Цех добычи производит добычные работы, состоящие из погрузки горной массы из забоев в автотранспорт, устройства карьерных дорог, съездов, зумпферов, кюветов, обеспечение работы водотопливных установок.

Откачка суточного притока грунтовых вод и атмосферных осадков составляет свыше 65 тыс. м³ в сутки. Для откачки воды с нижних горизонтов используются насосы АЦН-1000/180. Производительность цеха добычи по отгрузке взорванной массы составляет более 60 тыс. т в сутки. В цехе добычи работает мощная горно-транспортная техника: экскаваторы ЭКГ-8И, ЭКГ-5А; бульдозеры Т-330, БелАЗ-7823; погрузчик БелАЗ-7822. Для разрушения негабаритных кусков горной массы используется гидравлический экскаватор «HYUNDAI ROBEX 450 LC-7» с навесным оборудованием «гидромолот», который разрушает негабаритные куски энергией механического удара.

Автотранспортный парк представляет собой одно из сложнейших подразделений РУПП

«Гранит». Он является связующим звеном между карьером и дробильно-сортировочным заводом.

В состав автотранспортного парка входят три колонны. В их распоряжении находятся БелАЗы грузоподъемностью 45, 55 и 60 т, легкой транспорт, автомобильные краны, автобусы, автовышки, автомобили по перевозке ГСМ и взрывчатых веществ, МАЗы для междугородних перевозок, колесные и гусеничные бульдозеры, погрузчики и тракторы.

На предприятии РУПП «Гранит» доставка работников предприятия на работу и обратно (утром, вечером и в обеденный перерыв) осуществляется служебными автобусами.

В состав дробильно-сортировочного завода входят пять цехов по переработке горной массы и производству щебня, один цех погрузки и два вспомогательных участка.

Переработка горной массы осуществляется на щековых дробилках С-200 (Финляндия), СМД-117, ЩДП 15×21 (Россия), дробилках среднего давления и конусных дробилках КСД-2200 (Россия), НР-300, НР-500 (Франция).

В 1983 г. был построен литейный завод, а в 1985 г. на его базе был создан литейно-механический завод (ЛМЗ), который является поставщиком запасных частей из стали 110Г13Л и 35Л для размольного, дробильного и горнодобывающего оборудования.

Производственная мощность ЛМЗ — 1050 т литья в год. Для выплавки стали установлены две электроплавильные печи ДСП-3.

На оборудовании ЛМЗ имеется возможность производить механическую обработку литья.

В 2006 г. к РУПП «Гранит» присоединили сельскохозяйственное предприятие филиал «Агрогранит». Общая земельная площадь со-

ставляет 8495 га, площадь сельскохозяйственных угодий — 4996 га.

В филиале «Агрогранит» РУПП «Гранит» имеются два участка растениеводства, которые специализируются на выращивании зерновых, зернобобовых, масленичных, кормовых культур. Поголовье КРС составляет 3252 головы.

Для поддержания нравственного и физического здоровья многотысячного коллектива РУПП «Гранит» на предприятии десятилетиями создавалась и обслуживалась большая социальная инфраструктура, включающая физкультурно-оздоровительный комплекс, Дворец культуры, бассейн, санаторий «Свитанок», общежития.

Без белорусского гранитного щебня не обходятся строители стран Балтии и России.

Микашевичское месторождение уникально по запасам и прочности добываемого камня. Оно очень «чистое». Что касается наличия радионуклидов, то по их содержанию продукция относится к первому классу и может использоваться без каких-либо ограничений.

Промышленная площадка предприятия связана транспортными коммуникациями с железнодорожной станцией «Ситница», расположенной на железнодорожной магистрали Брест-Брянск, автомагистралью Брест-Гомель, судоходным каналом с рекой Припять.

Перевозки готовой продукции осуществляются речным транспортом через судоходный канал по реке Припять и далее в направлении Черного и Балтийского морей. Большегрузные железнодорожные составы доставляют продукцию предприятия в любую точку континента.

Осуществляется доставка продукции непосредственно заказчику автомобильным транспортом.

ИЛЛЮЗОРНЫЕ МИРЫ АНДРЕЯ САХАРОВА, ЭДВАРДА ТЕЛЛЕРА И КЛАУСА ФУКСА

*Геннадий Горелик
(из журнала «Знание сила» 7/2013)*

В 2011 году человечество не заметило столетний юбилей знаменитого физика. И я бы не заметил, если бы меня не пригласили на конференцию, посвященную ему. А он дважды знаменит — самый выдающийся физик среди шпионов и самый выдающийся шпион среди физиков. «Атомный шпион», — так называли Клауса Фукса. Однако плоское слово «шпион» к Клаусу Фуксу не подходит, и не потому, что наших шпионов полагается называть разведчиками. Не подходит и ставший модным ныне титул «иностранный агент», поскольку, подозреваю, своими агентами он считал советских разведчиков. Фигуру этого немецко-британско-американского, а отчасти и советского, физика на одной плоскости не уместить.

Размышляя о том, как рассказывать о Клаусе Фуксе, я неожиданно понял, что по моей моральной шкале он стоит рядом с двумя другими моими героями — Андреем Сахаровым и Эдвардом Теллером. Все трое следовали голосу своей совести, невзирая на обстоятельства — на то, чем это им грозило. Хотя в остальном они — «три большие разницы». По шкале героической, например, один — трижды Герой Социалистического труда, другой стал бы Героем капиталистического труда, если бы такое звание учредили в США, а заслуги Клауса Фукса в той же области науки и техники остались вовсе без наград.

Начну с их штрих-портретов, бывших в ходу у передовой интеллигенции во время холодной войны, когда почти все было секретно, очень многое — совершенно секретно, а главное имело еще и гриф «Особая папка». Эти портреты, по

всеобщему закону инерции, дожили до нашего времени, несмотря на все рассекречивания (и на все мои публикации).

Портрет Сахарова похож на лубок: творец термоядерного оружия в какой-то момент вдруг осознал, что натворил, преисполнился чувством раскаяния и всю оставшуюся жизнь отдал борьбе за мир и за права человека. Из раскаявшихся грешников, как известно, получаются самые лучшие праведники.

Теллер в глазах интеллигентной публики, напротив, выглядел злодеем во всех отношениях: присвоил все заслуги изобретения термоядерной бомбы, маниакально ненавидел Россию, своекорыстно разогревал холодную войну, а, главное, опорочил своего коллегу Роберта Оппенгеймера, ставшего жертвой американской военщины.

Портрет Фукса выглядел бледнее и вызывал смешанные чувства даже у горячих советских патриотов, если они были людьми науки. Все-таки раскрывать секреты природы и воровать чужие атомные секреты для страны во главе с величайшим диктатором — занятия разные. То, что его за это приговорили в Британии к 14 годам тюрьмы, а отпустили — за хорошее поведение — через девять лет, симпатий не добавляло.

«...создавал иллюзорный мир себе в оправдание»

Прежде, чем заменить приведенные штрих-портреты на исторически обоснованные, задумаемся в слова Сахарова о его мыслях и чувствах в год смерти Сталина:

«Я уже много знал об ужасных преступлениях — арестах безвинных, пытках, голоде, насилии. Я не мог думать об их виновниках иначе, чем с негодованием и отвращением. Конечно, я знал далеко не все и не соединял в одну картину. Где-то в подсознании была также внушенная пропагандой мысль, что жестокости неизбежны при больших исторических событиях («лес рубят — щепки летят»). ...В общем, получается, что я был более внушаем, чем мне это хотелось бы о себе думать. И все же главное, как мне кажется, было не в этом. Я чувствовал себя причастным к тому же делу, которое, как мне казалось, делал также Сталин — создавал мощь страны, чтобы обеспечить для нее мир после ужасной войны. Именно потому, что я уже много отдал этому и многого достиг, Я невольно, как всякий, вероятно, человек, создавал иллюзорный мир себе в оправдание.»

Последняя фраза может служить важным общим принципом. Иллюзорные миры строили и три физика, о которых идет речь, и те, кто рисовали их портреты во времена холодной войны, и все мы в нашем относительно мирном, хоть и не очень светлом, будущем. Вопрос лишь в том, насколько построенный иллюзорный мир близок к реальности. Честно ответить на такой вопрос можно, лишь получив в свое распоряжение надежные факты. Похоже на науку: иллюзорный мир — теория, проверяемая экспериментальными фактами. Расставаться со своим привычным иллюзорным миром не легче, чем с привычной теорией.

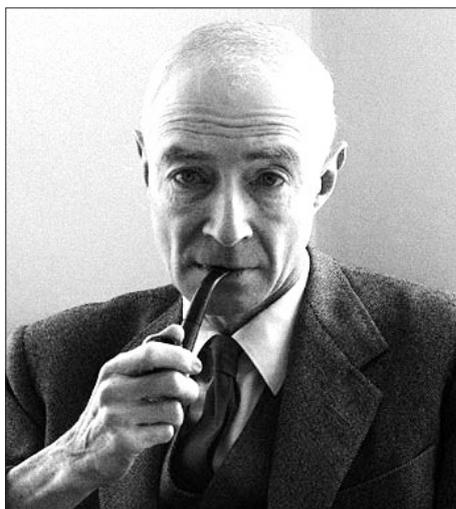
Сахаров свои размышления записал тридцать лет спустя, уже давно отвергнув свои прежние иллюзии. Раскритикованные после его смерти документы показали, какие именно факты побудили его совершить столь крутой поворот — из закрытого военно-научного эксперта превратиться в открытого защитника свободы и мира.



К. Фукс

Было чувство профессиональной и моральной ответственности, побуждавшее объяснять, что высокотехнологичное оружие — это не просто новая техника, а парадоксально новая политическая эра, когда стратегическая оборона сделала более вероятной мировую ядерную войну, а, значит, и мировое самоуничтожение. В 1967 году Сахаров объяснил это советскому руководству в обстоятельном секретном письме и подготовил несекретное объяснение для публики. Руководство посоветовало Сахарову не давать непрошенных советов. Это и стало концом иллюзорного мира, в котором руководство и народ, казалось, имели общую главную цель — благоденствие страны. Тогда, в 1968 году, Сахаров и совершил главный поступок — написал и пустил в самиздат свои «Размышления о прогрессе, мирном сосуществовании и интеллектуальной свободе». И с этого началась совсем другая его жизнь.

Что касается публичного покаяния Оппенгеймера, лишь немногие пытались понять, какой именно грех и когда физики совершили. В том ли был грех, что физики Англии и США начали работать над ядерным оружием во время войны, когда были все причины думать, что такая работа идет в гитлеровской Германии (где, напомним, открыли деление урана)? Или грех был в том, что физики позволили президенту, избранному наро-



Р. Оппенгеймер

дом, применить созданное оружие, чтобы закончить войну с Японией с наименьшими потерями?

Оппенгеймер, отвечая на прямые вопросы, всегда подтверждал правильность этого военное государственного решения и никогда так и не объяснил, какой грех он имел в виду. Публика осталась уверена, что это атомные бомбы, сброшенные на Японию. И, по законам страшного шоу-бизнеса, не сравнивали сотню тысяч погибших в Хиросиме от одной атомной бомбы в августе 1945-го с такой же сотней тысяч погибших в Токио от сотен обычных бомб в марте того же года. Как будто умереть от обычной бомбы лучше, чем от атомной. И как будто миллионы погибших безо всяких бомб в германских и японских лагерях к делу не относятся.

У биографов Оппенгеймера трудная задача — объяснить смысл его знаменитых фраз. Никто пока эту задачу не решил. Помимо фразы о грехе физиков, это еще и высказывания Оппенгеймера против работ по созданию термоядерной бомбы, поскольку, во-первых, это оружие аморально, а, во-вторых, оно мешает производству атомного оружия (вполне морального, стало быть, в его глазах). Когда же, два года спустя, появилась новая идея термоядерной бомбы, Оппенгеймер ее с энтузиазмом поддержал. Как все это понимать, ни Оппенгеймер, ни его биографы так и не объяснили. При этом несомненно, что Оппенгеймер был выдающимся физиком-теоретиком и чрезвычайно успешно руководил разработкой атомной бомбы. В этом были единодушны все его коллеги, включая Теллера.

Дело в том, что Атомный проект разворачивался и успешно завершился во время войны, когда политическая ситуация выглядела просто: Объединенные Нации союзников, включая США и СССР, сражались с инициаторами войны. А после войны быстро обнаружилась несовместимость целей недавних союзников, и роль ядерного оружия начала меняться непонятным образом.

Оппенгеймер, награжденный титулом «отца атомной бомбы», стал очень влиятельной фигурой. Мыслил он очень быстро, обгоняя других на пути от исходных постулатов до отдаленных следствий. Однако с выбором постулатов, в том числе и постулатов моральных, у него были сложности, что особенно проявилось в послевоенный период и привело к сильнейшему расхождению с Теллером в вопросе возможности и необходимости создания термоядерного оружия.

После появления термоядерной бомбы власти отлучили Оппенгеймера от военно-научных се-

кретов, а от Теллера дружно отвернулась почти вся американская научная интеллигенция. Ему ставили в вину то, что он в ответ на прямой вопрос представителей правительства США высказал свое мнение. Его спросили, считает ли он, что «Оппенгеймер представляет собой угрозу для национальной безопасности». «Теллер выразил уверенность в лояльности Оппенгеймера, но сказал:

«Часто мне было слишком трудно понять действия доктора Оппенгеймера. Я полностью разошелся с ним по многим вопросам, и действия его казались мне путанными и усложненными. В этом смысле мне хотелось бы видеть жизненные интересы нашей страны в руках человека, которого я понимаю лучше и поэтому доверяю больше».

После этого Теллер стал изгоем в среде, которую считал своей. Сохранили дружбу с ним лишь очень немногие (зато какие!): Э. Ферми, Дж. фон Нейман, Л. Сциллард, Г. Гамов, Ф. Дайсон. При этом никто не ставил под сомнение, что Теллер честно выразил свое личное отношение к Оппенгеймеру, — их противостояние в вопросе термоядерного оружия длилось уже несколько лет и было хорошо известно.

Теллера обвиняли в том, что он дал в распоряжение властей довод отстранить Оппенгеймера от военно-научных дел. Насколько этот довод помог властям, сказать трудно. Правительство и без того хотело избавиться от «отца атомной бомбы», невзлюбившего бомбу термоядерную. И наконец, сам Оппенгеймер сильно облегчил задачу своим недругам, признав, что некогда сознательно давал ложные показания представителям службы безопасности, и объяснив эту свою ложь слишком просто: «Потому что я был идиот».

Похоже, что сильный ум Оппенгеймера был ему самому не по силам, и что он сам страдал от этого, но не хотел умно защищать себя. Горе от ума, можно сказать. Психологическая уязвимость Оппенгеймера усиливала желание коллег защитить его от предвзятых политиков. Соответственно, общественное мнение против Теллера держалось до конца его жизни. На таком фоне возник и закрепился его портрет, черный во всех отношениях.

Документы, рассекреченные после окончания холодной войны, убедительно показали, что Теллер вполне здраво оценивал советскую угрозу в последние годы сталинизма. Во всяком случае, так считал вполне осведомленный Сахаров, в необычно сильных для него выражениях осудивший американских физиков за их «несправедливое и даже неблагородное» отношение к Теллеру.

Но отношение это исходило из иллюзорных представлений большинства американских физиков, которые видели дефекты американской политической системы, но совершенно не понимали, что происходит внутри СССР. Как не понимал когда-то и Сахаров.

Какое отношение ко всему этому имеет Клаус Фукс?

Термоядерные секреты Клауса Фукса

В 1946 году Фукс вернулся из США в Британию и возглавил теоретические работы в Британском ядерном проекте. Арестовали его в начале 1950 года, вскоре после первого советского испытания атомной бомбы, но до изобретения американской термоядерной бомбы.

Давно было известно, что Фукс передал советской разведке важную информацию об атомной бомбе. Он и сам признал это, дав подробные показания. Советское правительство, конечно, вклад Фукса публично отрицало, утверждая, что «мы и сами с усами». Отчасти это было правдой, и не только из-за усов вождя. В советском ядерном проекте работали выдающиеся физики и конструкторы. По общему мнению людей знающих, информация Фукса ускорила появление советской атомной бомбы всего на год-два.

Гораздо интереснее роль Фукса в истории термоядерной бомбы. Эта роль дает основание назвать его «дедом термоядерной бомбы» — родным дедом для американской бомбы и двоюродным — для советской.

Первый проект термоядерной бомбы можно представить себе в виде спички и охапки влажного хвороста. Спичка — атомная бомба, а хворост — термоядерное горючее. Физики решали две задачи: сделать такую спичку, чтобы она подошла хворост с краю, и расположить хворост так, чтобы огонь охватил его весь. Переданные Фуксом сведения об этой схеме выглядели настолько внушительно, что советское руководство решило, наряду с разработкой атомной бомбы, всерьез заняться термоядерной, для чего в Атомный проект добавили группу И. Тамма, в которую входил и 27-летний Сахаров. Так что именно из-за Фукса Сахарову пришлось оставить чистую мирную науку и заняться задачей термоядерной бомбы.

Думая, что схема исходит от главного теоретика атомного проекта Я. Зельдовича, Сахаров в этой



Э. Теллер

схеме усомнился и предложил совсем другую, в которой спичка помещалась в центр охапки хвороста, а перед тем, как спичку зажечь, хворост сжимался к центру. С тех пор группы Зельдовича и Тамма разрабатывали две разные схемы. Сахаровская стала первой термоядерной бомбой пять лет спустя, а «импортную» схему, шесть лет спустя, признали тупиковой.

В США тупиковость обнаружили четырьмя годами ранее, но уже после ареста Фукса. Потребовался еще год, чтобы Теллер — в 1951 году — изобрел новую схему, которая и стала основой настоящей водородной бомбы неограниченной мощности. Схема Сахарова давала лишь ограниченную мощность. А новую схему — аналогичную новой схеме Теллера — Сахаров изобрел в 1954 году.

Предыдущий короткий абзац может вызвать резкие несогласия весьма знающих и уважаемых мной людей. Одни скажут, что новую схему на самом деле изобрел математик Улам, а Теллер лишь слегка ее усовершенствовал и бесстыдно отодвинул главного соавтора. Другие напомнят, что сам Сахаров толком не знал, как новая идея возникла в СССР и приведут его удивительные слова: «Повидимому, к [новой идее] одновременно пришли несколько сотрудников наших теоретических отделов. Одним из них был я». А поскольку речь идет об идее глубоко-физической и чрезвычайно изобретательной, совершенно невероятно, чтобы она пришла в головы сразу нескольких сотрудников.

И тем не менее я ручаюсь за историческую обоснованность моего краткого абзаца, и только поэтому ставлю Сахарова и Теллера на сходную моральную высоту. За подробностями решения этого хитрого ребуса отсылаю к моим статьям и к книге о Сахарове, а здесь скажу лишь, что ключевую роль в обосновании играет зародыш новой идеи, изобретенный Фуксом в последние месяцы его пребывания в США в 1946 году. Фукс придумал новое устройство «атомной спички» для схемы, оказавшейся тупиковой, но инженерно-физическая идея родилась. Другое дело, что ее, переданную в СССР, не поняли имевшие к ней доступ, а в США Теллер вспомнил ее, когда обнаружился тупик.

С этой термоядерной идеей Фукса связана загадка. В своих следственных показаниях, рас-

сказав об атомных секретах, переданных в СССР, он отрицал, что передал также и свою термоядерную идею. Почему? Рассказывать честно — так рассказывать. А молчать — так молчать.

Мой ответ на эту загадку исходит из представлений об иллюзорном мире Фукса. О том, что в СССР испытали атомную бомбу, писали все газеты. Арестованный Фукс был удовлетворен, что помог социализму перед лицом атомной угрозы капитализма. И не было смысла пытаться преуменьшать свой вклад. Наоборот, пусть знают, что у социализма есть чем противостоять возможной агрессии. Угроза уменьшилась, но не исчезла, поскольку, по самой природе классовый борьбы, отживающие свой век капиталисты способны на все ради сохранения своей власти. А если признать и передачу сведений о термоядерном оружии, то капиталисты, чтобы не допустить еще большего усиления социализма, могут в отчаянии решиться превентивно атаковать первую страну социализма. Когда же в СССР испытают и термоядерную бомбу, превентивные меры принимать капиталистам уже будет поздно.

Неужели физик-теоретик мог так рассуждать? Неужели он был таким заурядным человеком?

Заурядным он вовсе не был. И не только потому, что сам внес значительный вклад в те атомные и термоядерные идеи, которые передавал советским товарищам. Вскоре после ареста Фукса американские следователи из ФБР попросили Ганса Бете, главного теоретика Американского атомного проекта, охарактеризовать его бывшего коллегу. Выдающийся физик, удостоенный нобелевской премии за раскрытие термоядерного источника звездной энергии, назвал Фукса «совершенно блестящим физиком, одним из наиболее выдающихся в области атомной энергии».

А вот оценка, дошедшая до нас благодаря замечательному итало-британо-советскому физiku Бруно Понтекорво и воспоминаниям советского физика Семена Герштейна. Они оба присутствовали на докладе Фукса, который Герштейну показался не очень интересным:

«Бруно, однако, был очень возбужден. Видно было, что эта встреча произвела на него сильное впечатление и как-то связана с его собственной судьбой. «Вы знаете, — говорил мне шепотом Бруно, — Ферми был очень строг в оценке ученых. Но Фукса он причислял к звездам первой величины». Я думал, что, когда кончится заседание, Бруно подойдет к Фукусу, но он этого не сделал, и мы вместе вышли из Дома ученых. Бруно был взволнован. Он, по-видимому, переживал

историю прошлых лет, накануне своего переезда (или, можно сказать, бегства) в СССР. «Мне было бы очень интересно прочитать мемуары Фукса, если он их напишет, — сказал Бруно. — Дело в том, что когда Фукса арестовали, мы все были уверены, что это полицейская провокация против коммунистов, поскольку выяснилось, что Фукс был коммунистом. У нас и мысли не было, что Фукс был шпионом, и мы считали, что это провокация в духе эпохи маккартизма, захлестнувшего Америку и распространяющегося на Англию».

Даже большим ученым, каким был Понтекорво, свойственно мерить на свой аршин: он бежал в СССР спустя полгода после ареста Фукса, именно опасаясь маккартистских преследований за свои просоциалистические взгляды.

Еще один фрагмент из воспоминаний Герштейна:

«Уже после перестройки, не помню точно, в 91-ом или 92-ом году, на общем собрании Академии наук Бруно подсел ко мне и сказал: «Я пишу сейчас автобиографию для итальянского издания. Я многое передумал. Я почти всю свою жизнь считал коммунизм наукой, но сейчас я вижу, что это не наука, а религия. Я считал Сахарова прекрасным, но наивным человеком, а сейчас я вижу, что наивным был я сам».

В данном случае «наивность» слово неточное. Гораздо глубже понятие «иллюзорный мир», которым Сахаров охарактеризовал свои ранние взгляды. Если мир за пределами повседневного быта вообще интересует человека, он вырабатывает свое представление о мире на основе доступной ему информации и... дезинформации. Результат можно называть «иллюзорным миром» безо всякого намерения обидеть. В сущности, и всякая научная теория создается как иллюзорный мир. Разница лишь в том, что наука занимается весьма ограниченным кругом явлений, располагает точным языком и надежными средствами проверять степень достоверности «иллюзорного мира» данной теории. Если же человека интересуют явления социальные, исторические, моральные, или, тем более, смысл жизни, у него гораздо меньше возможностей проверить «иллюзорный мир», предлагаемый ему другими или построенный им самим. Поэтому считать коммунизм наукой крайне легкомысленно, а сравнивать с религией слишком много чести. Религии определяли многовековые истории народов и давали опору в жизни многим замечательным людям. А иллюзий коммунизма хватило лишь на несколько десятилетий, и то благодаря герметичной закрытости

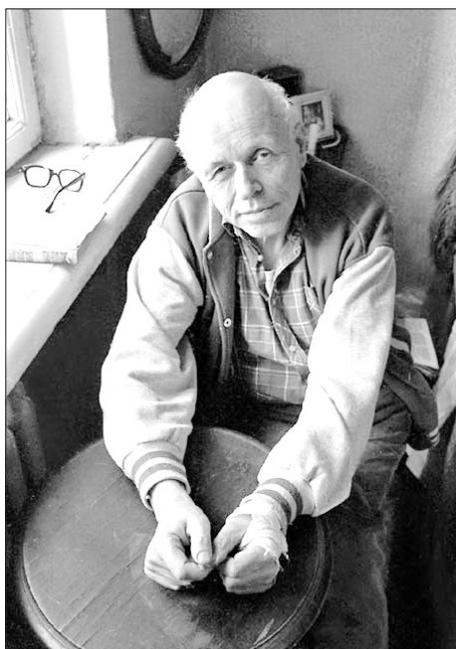
страны от внешнего мира, всемогущим «внутренним органам» и государственной системе дезинформации.

Но это мы знаем сейчас. Желая понять иллюзорные миры тех, кто этого еще не знал, надо выяснить, из чего они исходили, на каких краугольных камнях стояли их воздушные замки. Ведь Клаус Фукс не просто, в свободное от науки время, симпатизировал социализму. Он рисковал свободой, а то и жизнью, когда сам, после нападения Германии на СССР, установил контакт с советской разведкой и передал информацию о британской работе по атомному оружию, в которой участвовал. И затем фактически до самого ареста передавал важные сведения об англоязычном атомном проекте.

Прочность иллюзий

Свой иллюзорный мир Клаус Фукс построил еще студентом в Германии начала 30-х годов, когда мрак социализма опускался на страну. Он вырос в семье лютеранского пастора, который воспитывал у детей способность следовать голосу совести и чувству долга. Отец был первым пастором, вступившим в Социал-демократическую партию. Клаус также вступил в эту партию, но, увидев, что социал-демократы не могут противостоять грубой силе нацистов, вступил в компартию. Как и многие физики его поколения, не замкнутые в своей науке, но оторванные от реальной экономической жизни, он в идеях марксизма видел научное решение социальных проблем. А с другой стороны, не видел иной силы, кроме коммунистов, способной справиться с надвигающимся нацизмом.

Когда над ним нависла угроза ареста и расправы, ушел в подполье, и товарищи по партии помогли ему покинуть Германию с наказом завершить образование, чтобы пригодиться в освобожденной от нацизма стране. Образование он завершил в Британии и проявил способности, которые заметил видный физик и тоже эмигрант из Германии — Рудольф Пайерлс. Тот привлек Фукса к работе над проблемой атомной бомбы и затем в британскую группу физиков, которая



А. Сахаров

отправилась в Лос-Аламос, где разворачивался американский атомный проект.

Фукс делал важные работы, пользуясь симпатией коллег и их семей, а параллельно в своем иллюзорном мире помогая первой стране социализма. Природная сдержанность помогала ему вести двойную жизнь, не вызывая подозрений. Предвоенные крутые повороты советской внешней политики — договор о дружбе с гитлеровской Германией и война с Финляндией — ставили перед Фуксом трудные вопросы, но все их сняла война Германии с СССР.

На фоне такого безусловного и лично испытанного зла, как нацизм, и незнания

советских реалий Фуксу удалось предохранить свой иллюзорный мир от сомнений. Он оптом обезвредил сообщения капиталистической прессы, приняв, что она, исходя из своих классовых интересов, попросту лжет.

Ему было бы труднее, если бы он мог позволить себе обсуждать реальное устройство советской жизни со своими коллегами-физиками, которым кое-что было известно не из газет. Кое-что существенное могла бы рассказать жена Пайерлса, урожденная Евгения Каннегисер, которая дружила со Львом Ландау и Матвеем Бронштейном и у которой в СССР остались родители: родителей выслали, Ландау арестовали, Бронштейн исчез.

Не думаю, впрочем, что Фукс принял бы эти «отдельные» факты, как опровержение его представлений о мире, то бишь его мире теоретическом и, значит, иллюзорном. У думающего человека, каким был Фукс уже по своей профессии, иллюзорный мир сделан из крепкого материала, раз он нашел объяснение договору Молотова-Риббентропа и финской войне. Судьба отдельного человека, даже несправедливо наказанного, говорит лишь о тех отдельных людях, которые его наказали от имени государства, но не о государстве в целом. Так думали очень многие и внутри СССР, и даже близкие наказанных, и даже сами наказанные, уверявшие себя, что «Сталин об этом не знает!».

Почему? Как объяснил Сахаров, «именно потому, что уже много отдал и многого достиг».

Клаус Фукс отдал очень много, рискуя свободой и жизнью, когда противостоял нацистам в Германии и когда передавал секреты советским коммунистам. Он и достиг многого, в его собственной моральной шкале, которая для людей высокоморальных важнее всех иных шкал.

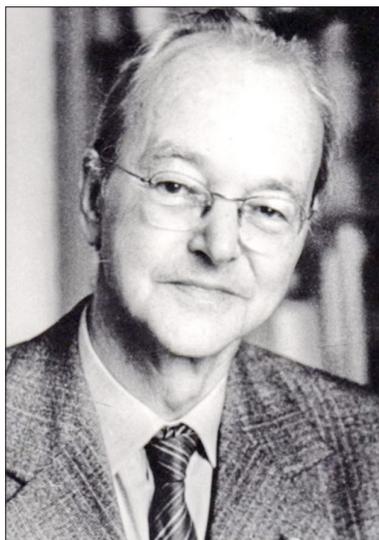
Не уверен, что его иллюзорный политический мир изменился бы, даже поговори он обстоятельно с Теллером. у того не было никакой особой политической позиции до конца 30-х годов, хотя среди его друзей-физиков были и коммунисты, и те, кто остались в гитлеровской Германии. Теллеру для жизни вполне хватало физики и музыки.

Но в конце 30-х годов он узнал нечто важное о коммунизме благодаря двум своим друзьям-коммунистам. Вот как он сам рассказал об этом:

«Вторую мою работу в физике я сделал совместно с моим другом Ласло Тиссой. Вскоре его, как коммуниста, арестовали в фашистской Венгрии. Год спустя он вышел из тюрьмы, но потерял возможность работать в науке. Тогда я порекомендовал его моему другу Льву Ландау, которого знал как страстного коммуниста в Копенгагене и который уже вернулся в Харьков. Несколько лет спустя Тисса посетил меня в США. У него больше не было никаких симпатий к коммунизму».

Тисса своими глазами видел, как разгромили один из главных научных центров СССР. Арестовали выдающихся физиков, включая и самого Ландау. Самого Тиссе чудом, как венгерскому гражданину, удалось выскользнуть из страны социализма. И Теллер уже в 1940 году «был вынужден прийти к выводу, что сталинский коммунизм не намного лучше, чем нацистская диктатура Гитлера». Этот теоретический вывод Теллера совпал с тюремно-обоснованным выводом «странного коммуниста» Ландау, которого вытащил из застенков Петр Капица. Ландау сказал в 1957 году: «Наша система, как я ее знаю с 1937 года, совершенно определенно есть фашистская система».

У Фукса не было такого советского опыта, как у Ландау, и не было такого опыта общения с руководителями СССР, как у Сахарова. Поэтому, скорей всего, Фукс и сохранил свой иллюзорный мир до самой смерти в 1988 году. Напомню, что в 1989-м пала Берлинская стена.



Редкая фотография К. Фукса

Вскоре после ареста Фукса Теллер писал близкому другу:

«Фукс жил под невероятным грузом. Еще 20-летним, когда нацизм овладевал Германией, он решил, что коммунисты — это единственная надежда. Решил еще до того, как стал ученым. И с того времени всю свою жизнь строил вокруг этой идеи».

А полвека спустя убежденный антикоммунист Теллер сказал: «При всем моем неприятии действий Фукса, я все же должен сказать, что вел он себя как друг, и в других терминах я просто не могу о нем думать».

Что думал Фукс в конце жизни о себе, о лично не знакомом

ему Сахарове и о старом друге Теллере, увы, не известно. Не говорил он на эти темы даже с близкими и не оставил никаких воспоминаний. Есть лишь один намек на непростые и не слишком коммунистические его размышления — он перевел на английский язык религиозную книгу своего отца, видного теолога и очень близкого ему человека.

В год смерти Фукса Сахарову впервые разрешили выехать из страны, и он в США встретился с Теллером. Сахаров был не согласен со Стратегической оборонной инициативой, которую тогда отстаивал Теллер, но глубоко уважал его моральную природу и защищал от большинства американских физиков.

Встреча Сахарова с Теллером была слишком краткой и не удовлетворила обоих.

Тем более она не удовлетворяет историка физики, который мечтает каким-то образом организовать встречу Сахарова, Теллера и Фукса, чтобы они могли открыто и не спеша сопоставить свои иллюзорные миры в прошлом и настоящем... И, надеюсь, сойтись в ответе на вопросы Эйнштейна, заданные им в статье 1949 года «Почему социализм?»:

«Достижение социализма требует решить некоторые крайне трудные социально-политические проблемы: Как можно, учитывая централизацию политической и экономической власти, предотвратить превращение бюрократии во всемогущую и самовластную? Как можно защитить права личности и обеспечить демократический противовес к власти бюрократии?».

ЭМИГРАЦИЯ

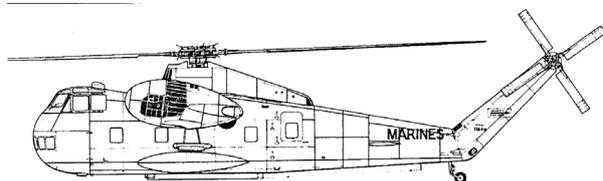
Часть четвертая

(продолжение)

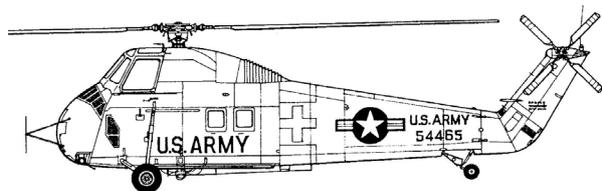
Клеванец Ю. В.

2. Американские вертолеты Сикорского (окончание)

Но жизнь продолжалась, продолжалась и конструкторская деятельность Игоря Сикорского. В 1951 г. начались работы над вертолетом грузоподъемностью в 3 т, т.е. в 3 раза большей, чем у S-55. В марте того же года с Корпусом морской пехоты США был заключен контракт на разработку и серийное производство нового большого аппарата (индекс S-56). Окончание опытных работ по контракту планировалось в мае 1953 г. Моторы для S-56 были взяты те же, что стояли на «Суперкрепостях», мощностью 2500 л. с. Сикорский разместил двигатели на пилонах, чем освободил пространство в фюзеляже и даже несколько разгрузил машину с точки зрения строительной механики. Внутри пилонов находились топливные баки. Впервые в мире был разработан новый 5-лопастной несущий винт. Лопастки винта и хвостовая балка проектировались складными для возможности базирования на корабле. В носу под кабиной пилота — створчатые ворота и выдвигающийся трап. Колеса стоек шасси убирались в гондолы двигателей. В грузовой кабине могли разместиться 36 десантников или 3 джипа — опять же впервые в мире. В целом кабина, как по размерам, так и по виду соответствовала кабине самолета DC-3, основного транспортного самолета ВВС США 40-х гг. XX в.



Вертолет S-56



Вертолет S-58, армейский вариант

Большой вертолет был готов к сроку, однако начавшиеся испытания не доставили удовольствия проектировщикам: пришлось еще три года сверх контракта вести борьбу с вибрациями, доводить трансмиссию и несущий винт, поэтому заводские испытания окончились только в 1956 г.

В ноябре того же 1956 г., уже в рамках войсковых испытаний, S-56 поднял на внешней подвеске груз массой в 6 т на высоту 2 км, а 5 т — на высоту 3688 м. Это мировой рекорд. Было также установлено, что вертолет может перевозить на внешней подвеске танкетку M-50.

В том же году началось серийное производство в трех вариантах: транспортно-десантном с базированием на корабль или на сушу последний без разъемов на хвостовой балке и лопастях винта, а также радиолокационном — с большим радаром в носу вместо входных створок.

S-56 был и остался до сих пор самым большим в мире вертолетом с поршневыми моторами. Его основные характеристики таковы: взлетная масса до 14 т, масса груза от 3 до 4,8 т, скорость макс. 209 км/ч (на испытаниях вертолет показал рекордные 269 км/ч), макс. высота подъема 3660 м, дальность 435 км. Всего построено около полутора сотен таких машин. Вертолеты S-56 использовались морской пехотой во время войны во Вьетнаме и получили положительные отзывы.

В том же 1951 г., когда началось проектирование S-56, Сикорский, верный своим правилам, начал разработку «промежуточного» между S-55 и S-56 вертолета с новым индексом S-58. Двигатель был выбран в 2 раза более мощный, чем у S-55. Грузоподъемность около 2 т (1800–2200 кг). По параметрам эта машина походила на советский Ми-4, а внешне отличалась, поскольку хвостовая балка у S-58 шла снизу фюзеляжа. Хотя проектирование S-56 и S-58 было начато примерно в одно и то же время, последний был построен и облетан раньше своего более крупного собрата, поскольку его 4-лопастный несущий винт оказался намного более удобным и приемлемым с точки зрения опасности возникновения резонансных колебаний. Вертолет строился по заказу ВМФ.

Поэтому лопасти винта, в целом заимствованные у S-55, делались складными. Складывалась и хвостовая балка. Между прочим, нижнее расположение хвостовой балки было выбрано из условия базирования на корабле, так как допускало более «резкое» маневрирование при посадке, без риска ударить лопастью винта по этой самой балке. Однако эта же компоновочная схема не позволила оснастить вертолет широкими грузовыми створками и рампой, как на советском Ми-4. Груз и/или пассажиры размещались в вертолете только через боковые двери.

С целью облегчения машины в конструкцию ввели много элементов из магниевых сплавов. Однако потом, по результатам применения, особенно на море, пришлось заменить магний на проверенный коррозионно-стойкий дюраль (магниевые сплавы подвержены межкристаллитной коррозии).

Кабина пилотов, как и на S-55, была «на втором этаже». Летчики попадали в нее через широкие сдвигающиеся окна-блистеры по лесенке с утопленными в борт ступеньками.

Противолодочный вариант вертолета оснащался сонаром, минами Mk-24 или торпедами. Это был первый в мире полноценный противолодочный вертолет. Первый полет был совершен в марте 1954 г., а в апреле, еще до завершения войсковых испытаний, был подписан контракт на серийное производство. В августе флот получил первый серийный вертолет. Во время войсковых испытаний S-58 с успехом буксировал корабли, мог тащить минный трал. Все эти приемы затем использовались во время эксплуатации вертолета. Был, например, случай, когда S-58 оттащил на мелководье аварийно севший в морской бухте пассажирский самолет. Для флота было изготовлено 255 машин этого типа.

После флота вертолетом заинтересовалась армия США. На фирме, соответственно, доработали машину под новые требования. Стандартный «сухопутный» S-58 под названием «Чоктоу» не имел разъемов на балке и на лопастях винта и в ударном варианте вооружался 40 неуправляемыми реактивными снарядами калибра 70 мм, двумя управляемыми ракетами «воздух – земля», имел две 20 мм пушки, три 12,7-мм пулемета и шесть пулеметов калибра 7,62 мм.

Кроме того, для армии строились вертолеты в вариантах: транспортно-десантном, санитарном, поисково-спасательном, разведывательном, учебном и для наблюдения — всего 434 машины.

Отдельно строилась серия в 8 машин класса «люкс» для президентского авиаотряда.

Лицензию на производство «морских» и «сухопутных» S-58 купила Франция. Французские лицензионные вертолеты назывались «Мамонт» и широко использовались во время войны в Алжире.

В 1956 г. на S-58 установлены три мировых рекорда скорости на замкнутой дистанции. 100 км пройдены со скоростью 228 км/ч, 500 км — 218 км/ч, 1000 км — 213 км/ч.

В том же 1956 г. был подписан контракт на поставку S-58 в Корпус морской пехоты. По этому контракту было изготовлено 640 машин. Вертолеты для морпехов почти не отличались от тех, что поставлялись армии США.

1956 г. знаменателен для фирмы еще и получением сертификата на гражданское использование S-58. В производство были запущены пассажирские, транспортные, полицейские и пожарные вертолеты — всего 355 машин.

Отдельно был разработан поплавковый «амфибийный» вариант аппарата. Всего было изготовлено 40 амфибий.

Еще 6 машин были доработаны под требования Береговой охраны США и закуплены последней.

В следующем, 1957 г., Игорь Иванович ушел в отставку, став вместо директора и главного конструктора консультантом фирмы. В это время производство уже готовилось к выпуску модернизированного варианта вертолета с автопилотом и доплеровской системой контроля скорости. Первый полет такого вертолета состоялся в марте 1958 г. Значительная часть машин этой серии была продана в ФРГ.

Новым руководителем фирмы стал Ли Джонсон. Сын Сикорского, Сергей Игоревич, занял пост зама по коммерции. Интересный момент: в книге В.Р. Михеева говорится, что Сергей получил высшее образование не на папины деньги (что в наших условиях нормально), а на подъемные, выплачиваемые правительством США всем демобилизованным ветеранам Второй Мировой войны. Сергей во время войны служил в Береговой охране США.

Здесь уже говорилось, что французские вертолеты типа S-58 широко применялись во время войны в Алжире. Еще одна боевая страница биографии этой машины — использование в войне во Вьетнаме. Вертолеты этого типа поставлялись армии Южного Вьетнама. Там же воевали S-58, принадлежавшие флоту и Корпусу морской пехоты. У последних во Вьетнаме было 6 эскадронов по 24 вертолета в каждом. Сообщается, что только один эскадрон за 4 месяца боев десантировал 25 тыс. солдат и перевез еще 59 тыс. человек.

Во Вьетнаме с вертолетов S-58 разбрасывались мины, как на суше, так и на море, морские вертолеты этого типа тралили минные заграждения противника, буксировали аварийные суда, разгружали корабли в порту.

На S-58 впервые был опробован подъем грузов в качестве крана.

Всего было выпущено: 1821 вертолет в Америке, 185 — во Франции и 378 — в Англии по лицензии. Эксплуатировались эти машины в 50 странах мира. Основные данные S-58 таковы. Взлетная масса 5,5–6,3 т, масса груза до 2200 кг, или 16–18 десантников, мощность двигателя 1525 л. с., скорость 160–195 км/ч, потолок до 4030 м, дальность от 450 до 810 км. В порядке эксперимента был изготовлен 1 вертолет этого типа с газотурбинным двигателем Пратт-Уитни в 1800 л. с. Он был рассчитан на перевозку 16 десантников. Скорость возросла до 220 км/ч. Остальные параметры остались примерно теми же, что и у машин с поршневыми двигателями.

После войны во Вьетнаме около 500 машин S-58 были проданы военными гражданским покупателям. Они переоборудовались под «цивильное» применение как на самой фирме «Сикорский», так и на множестве мелких «контра», получивших лицензию от головной фирмы.

Около сотни из этих вертолетов дожили до XXI века, прослужив более 30 лет.

Следующая идея, которую прорабатывал Сикорский перед отставкой — это вертолет-кран. Такая машина на базе S-56 была изготовлена в 1959 г., она получила индекс S-60. Вместо фюзеляжа у нее была длинная балка. Этот вертолет мог перевозить 5,5 т груза или контейнер для 20 десантников. На испытаниях S-60 буксировал бульдозеры и легкие танки, перевозил секции мостов, разгружал корабли.

Однако грузоподъемность этой машины не удовлетворила заказчика (армию США), и было решено оснастить ее не поршневыми, а газотурбинными двигателями. Единственный экземпляр вертолета S-60 остался у разработчика и использовался в качестве вертолета-крана по заказам разных организаций в течение нескольких лет.

Итак, вместо поршневых моторов на пилонах было решено ставить газотурбинные двигатели (по два на каждую машину) Пратт-Уитни мощностью 4500 л. с.

С этого момента начался новый этап в развитии фирмы.

Газотурбинный двигатель отличается от реактивного тем, что передает основную часть разви-

ваемой мощности на встроенный хитроумный редуктор с большим передаточным числом, а не на разгон воздушно-газовой струи, как у последнего. Из-за редуктора масса двигателя, конечно, становится больше, чем чисто реактивного, но все равно она намного меньше, чем у поршневого мотора.

По сравнению с поршневым у газотурбинного двигателя увеличивается расход топлива, однако этот недостаток компенсируется как уменьшением массы двигателя, так и в результате перерасчета необходимой прочности конструкции всего вертолета.

Поэтому, говоря современным языком, переход на газотурбинные двигатели стал «трендом» мирового вертолетостроения на рубеже 50–80 гг. XX в.

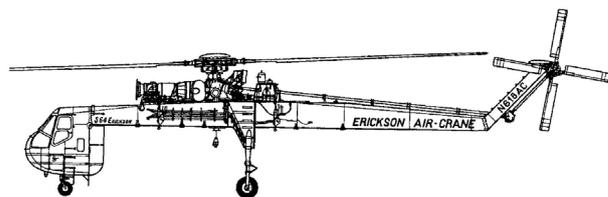
Но вернемся на фирму Сикорского. Новый вертолет-кран с индексом S-64 был построен в 1962 г. Он был рассчитан на перевозку 9 т груза на 85 км, или 8 т — на 170 км. Несущий винт — новый 6-лопастный, усовершенствованный по сравнению с S-56. К вертолету прилагался универсальный подвесной контейнер, в котором, в частности, можно было перевозить 60 десантников.

Новый вертолет понравился военным заказчиком, было начато серийное производство. S-64 применялся во Вьетнаме, где восстанавливал взорванные партизанами мосты, а также он перевез к своим 380 подбитых и аварийных самолетов и вертолетов. Его покупали и гражданские авиакомпании.

Его взлетная масса от 17, 2 до 21,3 т, масса груза 8–12 т, мощность двигателей 4500–4800 л. с., дальность — 370–454 км. Всего построено 99 таких аппаратов.

В 1958 г. начались работы над машинами, призванными заменить в будущем S-55 и S-58 уже на основе газотурбинных двигателей. Первый получил индекс S-62, а второй — S-61 (в последующем став знаменитым под именем «Си Кинг»).

S-62, как меньший по размерам, был готов первым. Несущий винт — доработанный от S-55. Двигатель над кабиной. Взлетная масса — та же, что и у S-55. Фюзеляж сделан в виде лодки. Топливные баки — под полом кабины. Высота фюзеляжа сильно уменьшилась из-за отказа от «двух этажей». Двигатель — один «Дженерал



Вертолет S-64

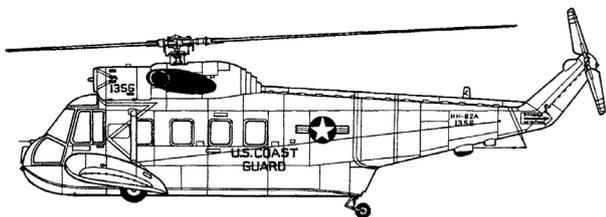
«Электрик» в 1050 л. с. Шасси убиралось. Был изначально рассчитан на перевозку 2 пилотов и 10 десантников, но в США им заинтересовалась только Береговая охрана США. Пришлось переделывать внутреннюю компоновку.

Взлетная масса до 2,4 т, масса груза 1,3–1,45 т, скорость 160–173 км/ч, дальность 760 км. Построено всего 145 машин, кроме Береговой охраны их закупали и гражданские авиакомпании. Продавался в Индию, а в Японии по лицензии построено еще 25 вертолетов.

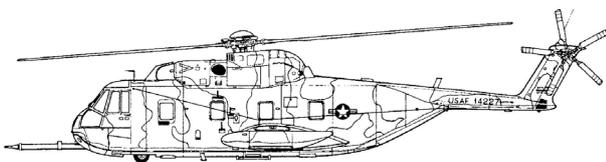
S-61 строился под два газотурбинных двигателя «Дженерал Электрик» по 1250 л. с. компоновка по типу S-61, вертолет очень похож на советский Ми-8 и, по-видимому, послужил для него прототипом. Имел, в отличие от милевской машины, убирающиеся шасси. Несущий винт 5-лопастный. Первый заказчик, как и для S-58 — флот США. На этом вертолете впервые применена принудительная посадка на палубу корабля вне зависимости от волнения.

Система принудительной посадки включала в себя два основных компонента: самоходную тележку на корабле и приводной штырь с тросом на вертолете. Вертолет при посадке зависал над палубой корабля, при этом тележка на палубе должна была специальной воронкой «уловить» штырь с вертолета. Штырь после попадания в воронку фиксировался захватами и втягивался внутрь тележки. Вертолет таким образом притягивался к тележке, садился на нее, после чего автоматически увозился в ангар.

S-61 вооружался морскими торпедами и глубинными бомбами. Гидроакустический буй сонара можно было не только «макать» в воду на режиме висения, но и «возить» его по воде за вертолетом на тросе.



Вертолет S-62



Вертолет S61 с системой дозаправки в воздухе

На «Си Кинге» во время испытаний в 1961 г. установлены мировые рекорды. На дистанции в 100 км была показана скорость 338 км/ч на дистанции в 500 км — 322 км/ч, на дистанции 1000 км — 282 км/ч. В марте 1965 г. вертолет пролетел без посадки всю территорию США: от восточного до западного побережья. Был также организован перелет из Америки в Париж по пути Линдберга. Сам Игорь Сикорский встречал аппарат в аэропорту Ле Бурже.

Некоторые из выпущенных S-61 оснащались системой подхвата парашютов и воздушных шаров. Они применялись для эвакуации спускаемых капсул космических аппаратов.

За флотом последовал заказ от армии на 245 машин. Эти вертолеты широко применялись во Вьетнаме. Десантный армейский вариант вертолета перевозил 26 солдат или 3,6 т груза. По результатам военного применения машины дооснащались титановой броней.

Один из вариантов армейских S-61 имел систему дозаправки в воздухе от имевшегося на вооружении заправщика на базе самолета Си-130 «Геркулес». Всего в мире было построено около 1500 S-61, причем 790 — в США, а остальные — в Англии, Франции, Италии, Японии по лицензии. Машины продавались во многие страны мира. Кроме войны во Вьетнаме, широко применялись во время первого вторжения американцев в Ирак. До сих пор в мире летают сотни S-61.

Данные этого вертолета таковы. Взлетная масса от 8050 до 10000 кг, максимальный поднимаемый груз 3600–3990 кг, мощность двигателей 1250–1500 л. с., скорость 241–261 км/ч, дальность без системы дозаправки 395–670 км.

Еще одна прижизненная для Сикорского машина марки «S» появилась в начале 1960-х гг. в результате контракта с Корпусом морской пехоты США. Новый вертолет с индексом S-65 должен был заменить поршневым S-56. Он строился с широким использованием узлов и агрегатов «крана» S-64, особенно в части несущего винта. В литературе отмечается использование титановых сплавов в конструкции. По компоновке S-65 походил на S-61 и S-62. Шасси убиралось в полете. Над кабиной — два двигателя по 2850 л. с.

В кабине 2 пилота и бортмеханик. Мог перевозить 37 десантников. Был разработан санитарный вариант для перевозки 24 раненых на носилках.

В целом S-65 был примерно равен советскому Ми-6. Милевская машина была более грузоподъемной и скоростной, но менее экономичной.

Первый полет состоялся в 1964 г. Во время испытаний заказчику были продемонстрированы

элементы высшего пилотажа — «бочки» и «петли», выполненные на этой, весьма большой, машине. С 1967 г. начались поставки в войска.

Первые серийные вертолеты сразу же оказались во Вьетнаме. Туда же была направлена большая часть из выпущенных машин.

После морской пехоты контракт на поставку S-65 заключил флот. Флотский вариант вертолета выполнял во Вьетнаме траление акваторий.

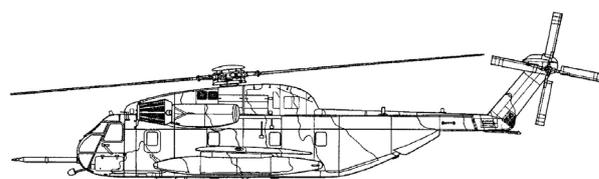
Был также разработан вариант вертолета с системой дозаправки в воздухе. В 1970 г. 2 флотских вертолета с использованием дозаправки в воздухе перелетели из Флориды во Вьетнам, покрыв 14000 км за 54,4 часа летного времени со средней скоростью 266 км/ч.

Во второй половине 1960-х гг. S-65 оснащались турбинами мощностью 3925 л. с.

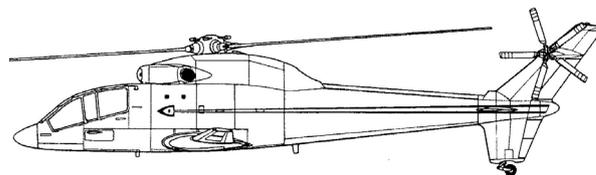
Всего построено в США 410 вертолетов. По лицензии изготавливались в ФРГ. Машины продавались многим странам и до сих пор состоят на вооружении, как в Америке, так и в других государствах.

Экипаж — 3–5 человек, 37–65 десантников (если без кресел — 92). В пассажирском варианте перевозил 55 человек. Масса взлетная макс. от 15200 до 19050 кг, масса груза макс. от 3650 до 9000 кг, двигатели мощностью от 2850 до 3925 л. с., скорость макс. 275–315 км/ч, потолок до 6400 м, дальность 415–860 км без системы дозаправки в воздухе.

Последний вертолет, в разработке которого принимал участие Игорь Сикорский, назывался S-67 «Блэк Хок» (первый с таким названием). Концепция этой машины: противотанковый вертолет поля боя. S-67 должен был противостоять возможным массовым атакам советских, китай-



Вертолет S-65 с системой дозаправки в воздухе



Вертолет S-67

ских и других танков в условиях обычной, т. е. неядерной войны. Эта довольно тяжелая машина была небольшой по размерам и весьма скоростной. Концевые поверхности несущего винта вертолета выходили при этом на околозвуковые скорости (0,96 М), поэтому следовало по-новому подбирать их профилировку. Машина была бронирована, шасси убиралось. Первый полет состоялся в 1970 г.

Параметры вертолета. Двигателей — два по 1500 л. с., 1 пилот, оператор вооружения и 6 стрелков-десантников, взлетная масса 8400–11060 кг, груз до 4 т, скорость макс. 327 км/ч, дальность 965 км. В целом по данным машина похожа на советский Ми-24.

Во время испытаний у заказчика, армии США, изменились предпочтения, поэтому вертолет серийно не строился. Но Игорь Иванович Сикорский, один из немногих людей, кто определял развитие технической мысли XX века, этого уже не увидел. Он ум ер 26 октября 1972 г.

Литература.

1. Михеев, В. Р. Сикорский / В.Р. Михеев, Г.И. Кагышев. — СПб, 2003.
2. Дузь, П.Д. История воздухоплавания и авиации в России (до 1914 г.) / П.Д. Дузь. — М., 1979.
3. История воздухоплавания и авиации в СССР. — М., 1944.
4. Дузь, П.Д. История воздухоплавания и авиации в России (1914–1918) / П.Д. Дузь. — М., 1989.
5. Сикорский, И.И. Воздушный путь / И.И. Сикорский. — М., 1998.
6. Шавров, В.Б. История конструкций самолетов в СССР до 1938 г. / В.Б. Шавров. — М., 1994.
7. Клаз, И. Потомству в пример / И. Клаз. — Минск, 1978.
8. Кувшинов, С.В. Этапы эволюции процесса проектирования самолетов / С.В. Кувшинов // Исследования по истории и теории авиационной и ракетно-космической техники. — Вып. 5. — М., 1986.
9. Авиация в России. — М., 1988.
10. Никольский, М. Икары российского неба / М. Никольский. — Ногинск, 2005.
11. Бычков, В. Русский воздушный богатырь / В. Бычков // Крылья Родины. — 1987. — № 4.