

ЦЕНТР АВИАЦИОННОЙ НАУКИ

(из журнала «Наука и жизнь» № 11, 2008)

В преддверии 90-летнего юбилея Центрального аэрогидродинамического института его директор доктор физико-математических наук, профессор С. Чернышев ответил на вопросы редакции об истории ЦАГИ, о его работе и международном сотрудничестве.

– Сергей Леонидович, 1 декабря исполняется 90 лет с момента официального образования ЦАГИ. Известно, что институт возник не на пустом месте. Аэродинамические исследования в России проводились и до революции. Более того, российская аэродинамическая школа была признана в мире. С чего начинался институт?

– История гидроаэродинамических исследований в России имеет ярчайшие страницы. Так, в 1870-х годах изучением сопротивления воздуха и воды занимался Д.И. Менделеев. В 1879 году он выступил в Русском физико-химическом обществе с докладом «О сопротивлении жидкостей», а в 1880-м выпустил ставшую классикой монографию «О сопротивлении жидкостей и о воздухоплавании». Менделеев поддерживал идею изготовления летательного аппарата тяжелее воздуха, однако был убежден, что, прежде чем строить натурный образец, нужно провести серьезные исследования. В конце XIX – начале XX века исследования в области аэродинамики шли довольно активно. В Германии Купа получил важные результаты в частном случае обтекания дуги окружности при нулевом угле атаки, в России С.А. Чаплыгин рассмотрел более общий случай обтекания при положительном угле атаки. Наконец, в 1906 году Н.Е. Жуковский в общем виде доказал фундаментальную теорему о подъемной силе.

В 1904 году по инициативе и на средства промышленника Дмитрия Павловича Рябушинского в Кучине под Москвой был создан аэродинамический институт, которым с 1904 по 1906 год руководил Н.Е. Жуковский. После революции 1917 года Рябушинский передал институт государству. Талантливый ученый и организатор вскоре выехал за границу и всю жизнь (умер в Париже в 1962 году) проработал в области аэродинамики. На базе Кучинского института был организован ЦАГИ.

– ЦАГИ создан в 1918 году. Казалось бы, не самое подходящее время для открытия серьезного

научного учреждения. Почему это все же произошло?

– Традиционно считается, что рождение ЦАГИ — это яркий пример дальновидности тогдашнего руководства. Доля истины в этом есть. Однако инициатива принадлежала все же не Совнаркому, а профессору Жуковскому и его ученикам и соратникам. В качестве ответа на вопрос приведу слова академика Г.С. Бюшгенса. Георгий Сергеевич (кстати, один из старейших и самых авторитетных сотрудников ЦАГИ) считает, что «создание ЦАГИ — скорее следствие «домашней заготовки» и инициативы Н.Е. Жуковского, объединившего вокруг себя инициативных молодых инженеров и исследователей. Было-то их всего около сотни человек, получивших какой-то сарайчик для своей работы...». Действительно, без инициативы людей, увлеченных идеей, в данном случае — авиацией, сделать ничего нельзя. А для настоящих подвижников не существует препятствий. Что же касается развития ЦАГИ начала 1930-х годов, то в это время на первом месте была инициатива властей. Вот лишь один пример. После постройки и первых демонстрационных полетов туполевских тяжелых бомбардировщиков (ТБ1 и ТБ-3) У СССР резко улучшились отношения с Японией. Всем стало ясно, что до Страны восходящего солнца не так уж далеко. Но и личную инициативу сбрасывать со счета никак нельзя. В это время институтом руководил академик С.А. Чаплыгин. Он был талантливым ученым и, что бывает далеко не всегда, прекрасным организатором и великолепным учителем. К работе в институте он привлекал своих лучших студентов. Из них выросло целое поколение прекрасных специалистов.

– ЦАГИ — уникальный институт. В одном учреждении сконцентрированы и теоретики, и экспериментаторы, и конструкторы. Нужна ли такая централизация?

– В довоенное время ЦАГИ действительно занимался всеми вопросами практической авиации. Здесь были свое конструкторское бюро,

подразделение двигателей, лаборатория материалов, авиационных приборов и даже вооружения. Постепенно крупные направления выделились в самостоятельные институты, а в ЦАГИ основные усилия были сконцентрированы на аэро- и гидродинамике и прочности конструкций. Тем не менее институт остался, по сути, главным авиационным центром страны. Что касается централизации, то можно посмотреть на опыт иностранных коллег. Крупных авиакосмических центров немного. Они есть в США (NASA), во Франции (ONERA), в Англии (QINETIQ), в Германии (DLR), в Китае (CAE). Именно эти страны ныне являются лидерами в авиации. Во многом именно благодаря наличию собственных крупных исследовательских центров.

Сейчас наступило время для объединения российских авиационных исследовательских организаций в крупный национальный научный авиационный центр. Так, на мой взгляд, можно будет более эффективно управлять исследованиями, исключить дублирование и решать сложные государственные задачи более эффективно, в том числе и с финансовой точки зрения. Не надо забывать, авиационные исследования чрезвычайно дороги. Замечу, что их цена заключена не только в деньгах, но и в человеческих жизнях. Недостаток знаний в авиации приводит к катастрофам.

– **С какой научно-экспериментальной базой пришел институт к своему 90-летнему юбилею?**

– Перечисление только основных тем работы ЦАГИ займет, я думаю, несколько страниц мелким шрифтом. Лучше скажу о главных направлениях нашей работы. Институт занимается проблемами аэродинамики, прочности, акустики и динамики. Замечу, что в авиационной науке, может быть как ни в одной другой области знания, исключительно важен эксперимент. Подавляющее большинство проблем не поддается аналитическому решению из-за огромного числа влияющих факторов. Наблюдения и опыт позволяют построить адекватные математические модели и дать на их основе методы инженерных расчетов. Именно поэтому в ЦАГИ всегда огромное внимание уделялось экспериментальной базе. В настоящее время комплекс аэродинамических труб, установки для проведения прочностных испытаний самой разной направленности, комплекс акустических камер, гидродинамических испытаний и пилотажных стендов, пожалуй, не имеют равных в мире.

– **Вы упомянули о спросе на проведение исследований. Насколько велика сейчас загрузка**

института иностранными заказами и как вообще развивается международное сотрудничество ЦАГИ?

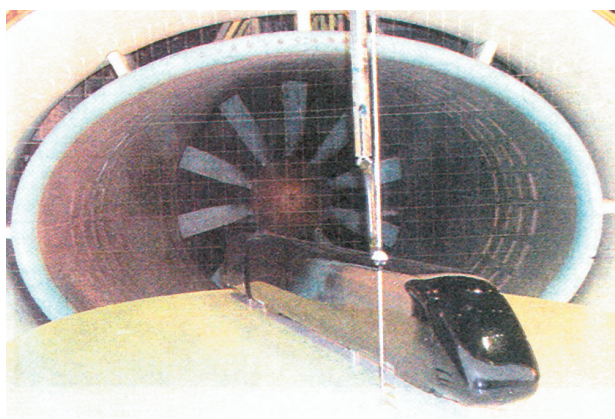
– Это длинная история. Давайте по порядку. Примерно с середины двадцатых годов прошлого века у иностранных фирм возник интерес к тому, что происходит в ЦАГИ. Вдруг оказалось, что не слишком богатая Россия производит собственные хорошие самолеты. Любому специалисту ясно, что без серьезной научной базы получить такие результаты невозможно. В институт приезжали ведущие мировые специалисты в области аэро- и гидродинамики, такие, например, как Людвиг Прадтль и Теодор Карман.

Но все же институт был закрытым учреждением. В послевоенные годы международное сотрудничество было сведено к абсолютному минимуму. Дело ограничивалось в основном участием в выставках и симпозиумах и обменом официальными делегациями. По сути, дальше деклараций о намерениях дело не шло. Пожалуй, только с французским национальным аэроавиационным научно-исследовательским центром (ONERA) контакты были более плотными. В основном обсуждались проблемы создания сверхзвукового пассажирского самолета. Но заложенные тогда традиции оказались крепкими, и проведение научных семинаров ЦАГИ – ONERA продолжается.

В начале 1990-х годов в связи с известными событиями финансирование института резко сократилось. С другой стороны, открылись возможности организации международных контактов. В августе 1991 года в Жуковском мы провели первый «авиасалон»: перед инженерным корпусом ЦАГИ были выставлены самолеты, а полеты проходили над Москвой-рекой. На крыше одного из зданий устроили трибуну, и оттуда гости наблюдали за



Полотняные мешочки, деревянные бруски и грузы на тросиках. Такими простыми приспособлениями можно смоделировать сложную распределенную нагрузку на элементы фюзеляжа самолета



В аэродинамической трубе модель скоростного поезда

полетами. Вскоре был организован визит американского посла в ЦАГИ. Это — переломный момент. Иностранные специалисты стали регулярно приезжать в институт. У нас бывало до 250 делегаций в год. В некоторые дни приходилось специально разрабатывать маршруты движения, чтобы группы не пересекались. Эта работа дала свои плоды. Интересно, что первый международный контракт, который мы подписали, был вовсе не с авиационной, а со строительной фирмой. Но довольно скоро мы получили заказ на проведение экспериментальной работы от компании «Боинг». Это был скорее методический, а не рабочий контракт. Заказчик хотел убедиться в наших возможностях, оценить качество результатов. Результаты оказались на хорошем уровне, и в дальнейшем мы перешли уже к настоящей работе.

– Что дают иностранные контракты институту? Кроме денег, разумеется.

– Деньги важны, но сейчас для нас куда интереснее возможность держать «руку на пульсе». В таком сложном деле, как авиационная наука, жить в изоляции нельзя. Мы должны знать, в каких направлениях развиваются исследования у зарубежных коллег. Правда, для этого нужно делиться и своими результатами. Иностранные заказы тем и интересны, что подчас ставят нас перед задачами, которые нам решать не приходилось, способствуют появлению новых направлений исследований.

– Не получается ли так, что иностранные фирмы, заключая контракты на исследования, просто эксплуатируют ЦАГИ?

– Понятно, что результаты исследований мы отдаем заказчику, но знания ведь тем и хороши, что, передавая их, мы с ними не расстаемся. В сущности, проводя исследования по заказу, мы

работаем и на себя. Так работает весь мир. Это нормальная практика.

– Вернемся в 90-е годы. Когда упал «железный занавес», началась работа с иностранными фирмами и исследовательскими центрами, довольно много специалистов, уже сложившихся авторитетных ученых перспективной молодежи отправились на Запад. Утечка мозгов коснулась ЦАГИ?

– Да, к большому сожалению, утечка мозгов ударила по ЦАГИ. Но отъезд на Запад или на Восток нас коснулся очень мало. Вероятно, человек 5 или 10 наших бывших сотрудников уехали. То, что произошло, куда хуже. Отъезд не страшен. Посмотрите на опыт Китая. Тамешние специалисты уезжают, работают несколько лет в лучших мировых центрах и возвращаются, обогащенные опытом, знаниями и личными связями. Между прочим, это очень важно, когда вы можете взять и запросто позвонить своему коллеге в другом полушарии Земли и посоветоваться. Ученые должны знать друг друга, это не только облегчает работу, но делает ее более интересной. У нас же произошла безвозвратная утечка — люди ушли из высокотехнологичных отраслей в сферы, где их специальные знания оказались не нужны. Это финансовые структуры, торговля, да и откровенные «рога и копыта». Оттуда почти никто не возвращается. Да и смысла нет. В науке нельзя делать паузы. Любой серьезный перерыв приводит не просто к отставанию от лидеров, а, говоря шахматным языком, к потере темпа и к потере качества. В этом беда. И это беда государства.

– Изменилась ли в связи с этим возрастная структура коллектива ЦАГИ?

– Во-первых, произошло существенное сокращение численности сотрудников — с 14,5 тысячи до без малого 3,5 тысячи. Во-вторых, образовался возрастной разрыв. Есть люди старшего поколения, и их довольно много. Это специалисты высокого класса, с огромным опытом работы. Есть довольно много молодежи. Сейчас приток молодых людей стал более заметным, чем еще 5–6 лет назад. Приходят очень хорошие ребята, но им потребуется 5–7–10 лет, чтобы стать настоящими специалистами. Почти нет 35–40-летних. А ведь именно в этом возрасте люди сочетают в себе стремление к достижению высоких целей с опытом и ответственностью. Постепенно ситуация исправляется, и я думаю, что если тенденция сохранится, то через 4–5 лет мы полностью восстановим структуру коллектива.

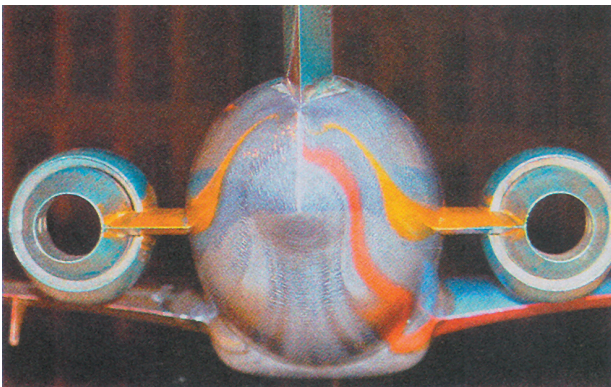
– Как вы оцениваете качество подготовки молодых инженеров?

– Я понимаю вопрос по-другому: как вы относитесь к новой системе подготовки инженерных кадров? Не так ли?

– Да, конечно, вопрос об этом.

– Ну так вот. К двухуровневой системе подготовки инженерных и научных кадров я отношусь отрицательно. Крайне отрицательно. Систему, отработанную, проверенную временем, показавшую не только жизнеспособность, но и очень неплохие результаты, ломать не следует. Если это делается ради международного признания российских дипломов о высшем образовании, то следует поискать другой способ; если это делается с целью улучшить систему подготовки инженеров и исследователей, то это не тот путь и следует поискать других разработчиков системы образования. Сила российской высшей школы всегда была в подготовке широко образованных специалистов. Фундаментальная общеинженерная подготовка и серьезная специализация на ее базе плюс информационно нагруженная производственная практика — вот структура, от которой нет никакого смысла отступать. Да, в некоторых вузах подготовка по специализации была недостаточно хороша. Но ориентироваться следует на лучшие вузы, такие как МФТИ, МГУ, МАИ, СПбГУ, МГТУ, МАТИ, МИФИ, КПУ (Казань).

Что же касается качества подготовки современных молодых специалистов — оно несколько упало, но кошмарным, как склонны его оценивать некоторые журналисты, не является. По крайней мере, к нам в ЦАГИ приходят молодые специалисты с более или менее приличным уровнем знаний, и, самое главное, у них есть желание работать и учиться. И все у них получится.



«Системы визуализации» потоков удивительно красивы

– Что привело вас лично к работе по международному сотрудничеству?

– Здесь все совсем просто. В МФТИ, где я учился, прекрасно поставлено преподавание иностранных языков. Окончив институт, я довольно свободно говорил по-английски. Когда началась работа по организации международного сотрудничества, знание языка дало мне возможность заниматься этим очень активно и плодотворно. Кстати, сейчас в ЦАГИ мы организовали для сотрудников курсы английского языка. На них занимаются и молодые сотрудники, и не очень молодые. Без знания иностранного языка сейчас работать в науке невозможно. А учитывая, что у ЦАГИ широкие международные контакты, знание языка жизненно необходимо. Рост профессионального мастерства, рост квалификации без языка сейчас невозможен в принципе.

– Каков был максимальный объем финансирования по иностранным контрактам какова их доля сейчас?

– Некоторое время иностранные контракты составляли почти половину бюджета института. Сейчас они не превышают 7 %. Менять объем этого финансирования мы пока не собираемся.

– Что в наибольшей степени привлекает иностранные фирмы к сотрудничеству с ЦАГИ?

– Вначале иностранных заказчиков больше всего интересовала уникальная экспериментальная исследовательская база. Прежде всего, аэродинамические трубы и экспериментальные прочностные, акустические, гидродинамические стенды и специальные научно-исследовательские тренажеры, на которых моделируют полеты самолетов на земле.

Решая довольно сложные задачи аэродинамики, нам удалось разработать оригинальные методики расчетов, требующие значительно менее мощной вычислительной техники, чем требуется для распространенных на Западе методов. Когда после очередных исследований иностранные коллеги узнали, что для расчетов нам хватило мощности обычного персонального компьютера, они были искренне удивлены. Заказчик просчитывал решение аналогичной задачи на суперкомпьютере, а тут — простой ПК. Но они считали, что называется, «в лоб». Мы же, прикинув возможности разделения одной комплексной задачи на несколько менее сложных, ввели в программу полученные отдельно точные решения и сумели «проскочить» без привлечения супертехники. В результате мы не только выполнили контракт, но смогли продать программы собственного производства. Вот и еще польза от такого сотрудничества:

чтобы программы продавать, нам пришлось научиться доводить их до товарного вида, то есть создавать удобные интерфейсы, чтобы любой, не сведущий в деталях метода инженер мог проводить с их помощью расчеты.

Иногда перед нами ставят задачи, не связанные с авиацией. Например, не так давно мы испытывали модель немецкого скоростного поезда. Пожалуй, самым интересным моментом исследования было изучение аэродинамических явлений при входе состава в тоннель. Задача оказалась очень сложной, но мы ее решили.

– Сейчас очень много разговоров идет об интеллектуальной собственности, о патентовании, о праве распоряжения результатами научно-исследовательских работ. Что делается в этом направлении в ЦАГИ?

– Мы такую работу проводим. К сожалению, пока не очень активно, сказывается отсутствие опыта. Сейчас мы запатентовали метод визуализации определения напряжения трения на стенке с помощью масла. Он настолько прост, что кажется, решение лежало на поверхности. Оказалось, что в зависимости от условий обтекания окрашенное масло растекается определенным образом, давая наглядную картину распределения напряжений. Некоторое время после окончания эксперимента рисунок сохраняется. Это очень удобно для работы.

Лет пятнадцать назад западные фирмы покупали у нас технологию бароиндикаторных покрытий. Это специальная краска, которая в зависимости от давления меняет отражающую способность. Освещая поверхность испытуемого образца в определенной области спектра, удается получить очень точную и наглядную картину распределения давлений по поверхности. Эту технологию ЦАГИ разработал совместно с МГУ.

Система, а точнее, идеология патентования у нас в стране пока развита слабо. В этом плане есть чему поучиться у иностранных коллег, и мы это делаем.

– Приходилось ли вам патентовать результаты, полученные в работе по международным контрактам? Кому в этом случае принадлежат результаты?

– Да, у нас есть, например, патент на приемник воздушного давления. Это очень чувствительный прибор, который позволяет измерять малые скорости полета, на вертолете например. В работе участвуют три фирмы — одна иностранная и две отечественные, в том числе ЦДГИ. Мы

договорились в самом начале, что каждый из разработчиков имеет треть патента и мы совместно продвигаем его на Запад. Нельзя сказать, что это очень успешный коммерческий проект, хорошо бы оправдать затраты, которые мы вложили в патентование, но мы учимся.

Патентование крайне важно, особенно в перспективе вхождения России в ВТО. В противном случае, если мы не защитим свою интеллектуальную собственность, она будет скуплена за бесценок.

– Принимает ли ЦАГИ участие в европейских межгосударственных программах?

– Европа уже давно объединилась и сбрасывается деньгами, создает общий «кошелек» и потом вырабатывает стратегию научных исследований в области авиации и космоса и в соответствии с этой стратегией организует конкурсы на проведение научных исследований в рамках всей Европы, уже независимо от стран. 10 лет назад Россия начала участвовать в европейских программах сначала на правах соисполнителя, а позже и в качестве партнера. Мы уже выполнили более десяти проектов. Получение проекта — довольно сложная процедура, связанная с участием в конкурсах, тендерах. На сегодня у нас около десятка проектов по новой рамочной программе, запущенной в январе нынешнего года. В рамках одного проекта может быть до трех десятков партнеров, нам приходится учиться с ними взаимодействовать. Это очень интересная и важная работа, она держит нас на уровне высших мировых достижений. Правда, и мы «подтягиваем» иностранных коллег, поскольку во многих вопросах уровень отечественной науки весьма высок.

Кроме участия в международных исследовательских программах мы ведем активную деятельность в области обмена научной информацией. Для этого ЦАГИ ежегодно проводит международные симпозиумы, семинары, конференции. При этом мы полагаем, что конференцию можно считать международной, если не менее половины организационного и программного комитетов составляют зарубежные ученые. Часто мы проводим встречи у себя в Жуковском, иногда в Москве. Стараемся устраивать эти мероприятия в достойных помещениях, в гостиницах «Славянская», «Президент-отель», «Метрополь». Кстати, это не так дорого, как может показаться, зато уровень достаточно высок, и на такие встречи приезжают ведущие мировые специалисты, что очень важно.

ИНСТИТУТУ ЭЛЕКТРОСВАРКИ ИМ. Е.О. ПАТОНА НАН УКРАИНЫ 75 ЛЕТ

Ученый секретарь института д.т.н. Л.С. Киреев

Институт электросварки создан академиком Евгением Оскаровичем Патонем в составе Всеукраинской Академии наук в 1934 г. на базе электросварочной лаборатории при кафедре инженерных сооружений ВУ АН и электросварочного комитета. Становление и вся последующая деятельность Института электросварки (ИЭС) связаны с именем этого выдающегося инженера и ученого. Он определил основные научные направления института в области технологии сварки и сварных конструкций, которые актуальны и сегодня.

Е.О. Патон сумел предвосхитить огромные перспективы развития технологии электрической сварки металлов — детища талантливых русских изобретателей Н.Н. Бенардоса и Н.Г. Славянова. Убедительным подтверждением этого научного предвидения есть тот непреложный факт, что сегодня сварка является ведущим технологическим процессом неразъемного соединения металлических и неметаллических материалов в различных условиях и средах, включая космическое пространство и Мировой океан.

На первом этапе специалистами института была доказана принципиальная возможность изготовления сварных конструкций, не уступающих по своей прочности и надежности клепаным, а по ряду показателей значительно их превосходящих. Это послужило основой массового применения сварки в дальнейшем. В эти же годы в институте было обосновано научное представление о дуговой сварке как металлургическом процессе, под руководством Е.О. Патона проведены исследования по автоматизации дуговой сварки. К 1940 г. была завершена разработка и начато внедрение на заводах страны высокопроизводительного процесса сварки под флюсом.

Решающее значение приобрела автоматическая сварка под флюсом в годы Великой Отечественной войны. Непосредственно в цехах танкового завода на Урале сотрудники института разработали и внедрили технологию автоматической сварки броневой стали, позволившую создать поточное производство сварных корпусов танков Т-34 и механизировать сварку другой военной техники. В заводских условиях коллектив института не прекращал научных исследований.

Довоенный и военный этапы в деятельности института — период становления научной школы, убедительным подтверждением авторитета которой явилось присвоение институту в 1945 г. имени Евгения Оскаровича Патона.

В годы восстановления разрушенного войной народного хозяйства усилия коллектива института были направлены на расширение областей применения высокопроизводительной автоматической и механизированной сварки под флюсом взамен ручной, на рационализацию сварных конструкций и индустриализацию их производства. Сотрудники института первыми в мире осуществили автоматическую сварку листовых конструкций непосредственно при монтаже.

Расширилось участие специалистов-сварщиков в разработке совместно с металлургами хорошо свариваемых конструкционных сталей для ответственных сварных конструкций и сооружений. Работы этого периода положительно сказались на темпах послевоенного восстановления промышленности, развития современного производства строительных металлоконструкций, производства высоконадежных в сварном исполнении изделий тяжелого, транспортного, химического и энергетического машиностроения.

Решение главной задачи — повышение производительности и уровня механизации сварочных работ — требовало непрерывного расширения в институте исследований по изысканию новых способов и приемов механизированной сварки, естественно, без сокращения работ по увеличению рациональных областей применения дуговой сварки под флюсом. Поиск возможности сварки под флюсом швов, расположенных в различных пространственных положениях, завершился созданием под руководством Е.О. Патона способа принудительного формирования сварного шва, который положил начало механизации дуговой сварки швов на вертикальной плоскости.

12 августа 1953 г. отечественная и мировая наука понесла тяжелую утрату — на 84-м году оборвалась жизнь Евгения Оскаровича Патона, человека, вписавшего яркую страницу в историю отечественной науки и техники. Его ученики и последователи, весь коллектив института достойно продолжили

дело, начатое его основателем. С 1953 г. и до настоящего времени директором института является его сын, академик Борис Евгеньевич Патон.

Одним из наиболее значительных достижений института начала 1950-х гг. стало создание новой технологии сварки плавлением металла больших толщин — электрошлаковой, которая в корне изменила производство тяжелых станин, котлов, гидроагрегатов и других уникальных сварно-прокатных, сварнолитых конструкций. Ее применение позволило в значительном диапазоне толщин получить сварные соединения высокого качества.

Позднее совместно с ЦНИИТМаш и другими организациями создан способ сварки в углекислом газе тонкой проволокой, получивший широкое применение в промышленности и обеспечивший значительный рост уровня механизации сварочных работ. Дальнейшим развитием газозащитной сварки плавлением стали разработка процесса и оборудования для импульсно-дуговой сварки, сварки в смесях активных и инертных газов. В этой связи следует особо подчеркнуть важность работ по созданию полуавтоматов, которые постепенно вытеснили там, где это возможно и целесообразно, малопроизводительную сварку штучными электродами.

В конце 1950-х гг. в институте активно начались исследования в области электронно-лучевой сварки, усилия ученых были направлены на исследование физико-металлургических процессов при воздействии мощного (до 100 кВт) острофокусного пучка электронов на толстолистовые (150...200 мм) конструкционные материалы. Особенно важной задачей, с которой институт успешно справился, являлась разработка технологии замыкания кольцевых швов, которая обеспечивала отсутствие корневых дефектов в виде раковин, пор и несплошностей.

Дальнейшим этапом развития лучевой технологии явилось ее применение для целей сварки и резки лазера. В институте проводятся систематические исследования в области импульсной и непрерывной лазерной сварки. В последнее время специалистами института разработаны гибридные источники нагрева — лазер-дуга, лазер-плазма.

На всех этапах деятельности института особое внимание уделялось исследованию физических, химических и металлургических особенностей сварки металлов. Лаборатории института были оснащены необходимой исследовательской аппаратурой для этих целей.

В институте получили развитие исследования по всем основным направлениям сварки давлением — стыковой контактной оплавлением и сопротивлением, точечной сварке, трением, диффузионной сварке.

Изучены физические и технологические особенности новых технологических процессов контактной сварки оплавлением, созданы системы автоматического управления и диагностики качества соединений. На базе новых технологий разработано и освоено производство нескольких поколений специализированных и универсальных машин для контактной стыковой сварки деталей широкого сортамента из низколегированных и высокопрочных сталей с площадью поперечного сечения до 200 тыс. мм², а также сплавов алюминия, титана, хрома, меди. Наиболее массовое применение нашли машины для сварки рельсов различных категорий в полевых и стационарных условиях, машины для сварки труб диаметром от 150 до 1420 мм при строительстве магистральных трубопроводов, установки для сварки элементов конструкций аэрокосмической техники. Оборудование для контактной сварки рельсов экспортируется во многие страны мира.

На основании использования энергии взрыва созданы новые способы сварки, резки, плакирования и обработки сварных соединений. Сварку и резку взрывом можно осуществлять в полевых условиях, где затруднено применение громоздкого сварочного оборудования.

На протяжении многих лет институт проводит исследования по сварке в космосе. В 1969 г. на борту космического корабля «Союз-6» летчик-космонавт Б.Н. Кубасов впервые в мире осуществил уникальный эксперимент по сварке электронным лучом, плазмой и плавящимся электродом на установке «Вулкан», созданной в ИЭС. Так было положено начало космической технологии, имеющей большое значение в программе освоения космического пространства. В 1984 г. Был проведен чрезвычайно важный, подготовленный ИЭС, эксперимент на борту орбитальной станции в открытом космосе. Космонавты С. Савицкая и Б. Джанибеков впервые в открытом космосе с помощью ручного электронно-лучевого инструмента (УРИ) выполнили процессы сварки, пайки, резки и напыления. Период с 1985 по 2000 гг. характерен ростом объема работ, выполненных в космосе. Продолжались работы по нанесению покрытий и сварке металлов, проведены комплексные эксперименты по раскрытию 12-метровой ферменной конструкции, сопровождавшиеся сваркой и пайкой ее отдельных узлов с помощью УРИ, раскрыты две 15-метровые ферменные конструкции являвшиеся несущей основой для многообразных солнечных батарей технологического модуля, пристыкованного к орбитальной станции «Мир».

Параллельно в институте решалась и такая сложная проблема, как механизация дуговой сварки под

водой, которая приобрела большое значение в связи с освоением прибрежного шельфа Мирового океана. Специалисты института создали оборудование для механизированной дуговой сварки и резки специальной порошковой проволокой на глубинах до 60 м и успешно развивают исследования по осуществлению сварки на больших глубинах.

Основополагающее значение имеют систематические исследования института в области физико-металлургических особенностей сварки различных металлов и сплавов плавлением: изучены процессы кристаллизации металла шва, установлена природа его структурной и химической неоднородности, раскрыт механизм поро- и трещинообразования, найдены средства борьбы с ними. Результаты этих исследований во многом являются серьезной теоретической базой для создания и совершенствования различного типа сварочных и наплавочных материалов.

Интенсивное развитие современной техники сопровождается постоянным расширением сортамента конструкционных металлов и сплавов для сварных конструкций. В ходе исследований по изучению процессов, протекающих в сварочной ванне, созданы новые сварочные материалы, электроды, порошковые проволоки, флюсы, газовые смеси.

В связи с возрастающими объемами применения пластмасс как конструкционного материала в институте развернуты исследования по их сварке, в первую очередь по сварке труб из пластмасс. К этому направлению примыкают работы по склеиванию.

Экспериментально-теоретические исследования и научные разработки в области прочности сварных соединений и конструкций представляют традиционные направления в тематике института, начало которым было положено Е.О. Патонем. Сегодня эти исследования носят многоплановый характер, для их проведения используется современное лабораторно-испытательное оборудование в сочетании с проведением уникальных натуральных экспериментов и компьютерного моделирования. Это позволяет разрабатывать новые эффективные методы повышения надежности ответственных инженерных сооружений при статическом и циклическом нагружении, а также устанавливать расчетно-конструктивные принципы обеспечения заданных служебных свойств сварных соединений. Проблема создания надежных сварных конструкций охватывает также вопросы выбора материалов, рациональных конструктивных решений, технологии изготовления и монтажа, снижения металлоемкости, которые институт успешно решает в содружестве со многими отраслевыми организациями и предприятиями. В последнее

время ведутся интенсивные работы по повышению надежности, долговечности и ресурса сварных конструкций, а также созданию эффективных методов их диагностики.

Работы института не ограничиваются исследованиями в области металлических материалов. Сотрудников института интересовали и проблемы сварки полимерных материалов и изделий из них. В последние годы появилось еще одно направление — электросварка мягких тканей живых организмов. В результате сделан существенный вклад в теоретическое обоснование процессов сварки живых тканей, а также разработку соответствующего сварочного оборудования для создания и отработки совершенных хирургических инструментов для конкретных органов человека, которые подлежат свариванию. Работа, выполненная коллективом авторов института в тесном сотрудничестве с хирургами — «Электрическая сварка мягких живых тканей» — открывает новые возможности в хирургических технологиях.

С начала 1950-х гг. по инициативе академика Б.Е. Патона в институте развернуты поисковые исследования и экспериментальные разработки по выявлению возможности использования сварочных источников нагрева для получения металлов и сплавов особо высокого качества и надежности, на основе которых сформировалось второе основное научное направление в деятельности института: специальная электрометаллургия. Усилия и успехи коллектива в этой новой области обеспечили заметное продвижение в развитии современной качественной металлургии.

К новым электрометаллургическим процессам в первую очередь относится электрошлаковый переплав расходуемого электрода в водоохлаждаемую изложницу. Фундаментальные исследования сущности электрошлакового процесса, его физико-химических, металлургических и электротехнических особенностей обеспечили передовые позиции института в разработке и применении электрошлаковой технологии, наплавки, литья, подпитки и др.

В последние годы в институте выполнен комплекс научно-исследовательских работ, послуживших основой для разработки нового поколения электрошлаковых технологий, основанных на получении слитков и заготовок непосредственно из жидкого металла без переплава расходуемых электродов. Эти технологии запатентованы в Украине и за рубежом и реализованы в промышленности. В частности, на Ново-Краматорском машиностроительном заводе на основе этих технологий создан уникальный комплекс по производству

биметаллических прокатных валков мирового уровня;

В институте созданы еще две электрометаллургические технологии: плазменно-дуговая и электронно-лучевая. Разработка техники и технологии этих переплавных процессов велась параллельно с фундаментальными исследованиями физико-металлургических особенностей рафинирования в контролируемой атмосфере или вакууме и процессов кристаллизации сталей, сложнoleгированных сплавов, цветных и тугоплавких металлов.

Совместными усилиями ученых института, отраслевых научных учреждений и производителей создана совершенная электронно-лучевая техника, а технология электронно-лучевой плавки в вакууме стала незаменимым процессом получения особо качественных материалов в металлургии и машиностроении. Работы в этом направлении в настоящее время сконцентрированы в созданном при институте научно-инженерном центре «Титан», который выполняет заказы как для предприятий Украины, так и для зарубежных компаний.

Исследования процесса испарения в вакууме металлических и неметаллических материалов и их последующей конденсации как основы парофазной металлургии открыли возможность для получения покрытий из различных материалов, включая жаростойкие, тугоплавкие и композиционные, позволили в широких пределах регулировать состав, структуру и свойства осажденных слоев. Толщина наносимых покрытий в зависимости от назначения регулируется от десятка микрометров до нескольких миллиметров.

В начале 1980-х гг. в институте формируется новое научное направление — комплексные исследования по созданию новых и совершенствованию существующих технологических процессов термического нанесения защитных и износостойких покрытий. В настоящее время институт развивает практически все современные процессы нанесения защитных и упрочняющих покрытий. Разработаны технология и установки для плазменно-дугового напыления износостойких покрытий, а также установки для детонационно-го напыления, которые могут эксплуатироваться с применением различных рабочих газов (ацетилен, пропана, водорода).

На всех этапах деятельности института одной из его главных задач является разработка оборудования для механизации процессов сварки и наплавки с целью замены ручного труда сварщика. Основные принципы построения сварочных установок, заложенные еще Е.О. Патоном, плодотворно развиваются коллективом конструкторов ОКТЬ

института с учетом новых тенденций развития сварочного и металлургического производства.

Большое внимание в институте уделяется созданию и широкому применению автоматического управления и регулирования технологическими процессами сварки, спецэлектрометаллургии и напыления с использованием современной электронно-вычислительной техники. Основой для этих разработок послужили фундаментальные исследования конкретных технологических процессов как объектов управления. Первые исследования в этом направлении были начаты академиком Б.Е. Патоном еще во время Великой Отечественной войны и успешно развиваются под его непосредственным руководством в настоящее время.

Значителен вклад в творческие успехи коллектива института тех научных подразделений и сотрудников, которые ведут математические исследования, создают новые методики современных физических и химических исследований, разрабатывают информационные системы, банки данных и экспертные системы, занимаются прогнозированием и систематическим анализом экономических аспектов развития сварочной науки и техники.

Благодаря сочетанию целенаправленных фундаментальных теоретических исследований с инженерно-прикладными разработками, тесным творческим связям с промышленными предприятиями в реализации технологических новшеств институт за прошедшие 75 лет своей деятельности превратился в крупнейший в стране и мире научно-исследовательский центр в области сварки и родственных технологий.

Сегодня институт представляет собой научно-технический комплекс, куда входят опытное конструкторско-технологическое бюро, экспериментальное производство, три опытных завода, ряд инженерных центров. Во всех его подразделениях работает около 3050 человек, из них собственно в институте 1650 человек.

Научный потенциал института составляют 440 научных сотрудников, среди которых 8 академиков и 7 членов-корреспондентов НАН Украины, 76 доктора наук и более 200 кандидатов наук.

Деятельность института и хозрасчетных подразделений строго координирована и полностью ориентирована на совместное решение задач по основным научным направлениям.

Активное и непосредственное участие ученых института в практической реализации своих разработок обогащает их как работников академической науки и способствует проведению фундаментальных исследований и поисковых

разработок в области сварки и смежных процессов, а также спецэлектрометаллургии, имеющих межотраслевое значение. За прошедшие 75 лет институт доказал жизнеспособность ориентации на целенаправленные фундаментальные исследования, которые повышают значимость их результатов в последующих разработках. В активе ученых института уникальные результаты познания физики дугового разряда и низкотемпературной плазмы, свойств мощных остросфокусированных пучков электронов, природы плавления, испарения, кристаллизации и конденсации металлов, физико-химических и теплофизических процессов сварки и рафинирующих переплавов, прочности и надежности сварных соединений и конструкций.

Результаты этих работ подтверждены лицензиями и полученными патентами. Институтом продано более 150 лицензий в США, Германию, Японию, Россию, Швецию, Францию, Китай и др. Получено около 2600 патентов Украины, России и дальнего зарубежья, а также более 6500 авторских свидетельств.

За годы деятельности института более 60 наиболее выдающихся разработок, выполненных и внедренных в народное хозяйство сотрудниками института в содружестве с производственными коллективами, удостоены ленинских, государственных, а также премий Украины.

Реализация перспективных научных разработок и инновационных проектов института осуществляется также через созданный при ИЭС «Технологический парк», в состав которого входят свыше 30 научных организаций, предприятий, инженерных центров и опытных заводов, специализирующихся в области сварки и родственных технологий. Среди них такие известные производители сварочного оборудования, как «КЗЭСО» и «СЭЛМА».

Одним из основных направлений деятельности института является подготовка научных и инженерных кадров. Подготовка кандидатов и докторов технических наук осуществляется через докторантуру и аспирантуру. При институте работает специализированный совет по приему к защите докторских и кандидатских диссертаций в области сварки, спецэлектрометаллургии и диагностики материалов и конструкций.

Подготовка инженерных кадров ведется институтом совместно с НТУУ «Киевский политехнический институт». Ученые института читают студентам обзорные курсы и руководят целевой подготовкой магистров. Научно-производственную и дипломную практику студенты проходят в научных отделах и лабораториях института.

Подготовка инженеров-физиков и математиков со специализацией в области сварки и спецэлектрометаллургии осуществляется на кафедре физической металлургии и материаловедения Киевского отделения МФТИ, организованной на базе ИЭС.

Профессионально-техническая подготовка и переподготовка специалистов сварочного производства осуществляется в учебном центре института. Система обучения в центре достаточно гибкая. Структура учебных программ предусматривает очную как групповую, так и индивидуальную подготовку слушателей курсов. Обучение проводится по национальным и европейским стандартам с выдачей соответствующего сертификата.

На базе института, имеющего уникальный научный и кадровый потенциал, хорошо оснащенные испытательные лаборатории, создан центр по сертификации продукции сварочного производства, который аккредитован как орган по сертификации под названием «СЕПРОЗ». В настоящее время центр проводит работу по совершенствованию украинской системы стандартизации и сертификации в соответствии с международными нормами и правилами.

Институт поддерживает широкие международные связи с ведущими центрами по сварке в Европе, США, Азии, является членом Международного института сварки и Европейской сварочной федерации. На базе института действует Межгосударственный научный совет по сварке и родственным технологиям стран СНГ, Международная ассоциация «Сварка» и Международное объединение «Интерм».

Результаты исследований ученых института постоянно публикуются в журналах «Автоматическая сварка», «Техническая диагностика и неразрушающий контроль», «Современная электрометаллургия», «Сварщик». Кроме того, институт издает журнал на английском языке «The Paton Welding Journal». В институте издаются монографии, справочники и другая книжная продукция.

Институт проводит различные конференции и семинары, организывает национальные и международные выставки.

За прошедшие 75 лет коллектив института прошел славный путь. Сегодня — это коллектив единомышленников, приумножающий успехи Патоновской научной школы, имеющей мировое признание. Институт растет и развивается, совершенствуется его структура и система управления — все направлено на дальнейшее развитие сварки и родственных процессов, а также решение базовых проблем экономики промышленного производства.

ИОФФЕ Ж.И. АЛФЕРОВ

Елена Телятко

(по материалам интернет ресурсов)

Вся Беларусь с гордостью узнала, что лауреат Нобелевской премии директор Санкт-Петербургского физико-технического института имени Иоффе Ж.И.Алферов - наш земляк, родился в Витебске.

Но откуда такое странное сочетание иностранного имени Жорес с исконно славянскими отчеством Иванович и фамилией Алферов? Учительница из Чашников Ирина Торбина разыскала корни семьи Алферовых в самой глубинке Витебской области. Оказывается, в Чашниках родился и вырос отец ученого - Иван Карпович Алферов. Сохранился дом, где он жил. В райцентре и сейчас еще здравствуют дальние родственники Алферовых.

Иван Карпович начинал свой трудовой путь на здешней бумажной фабрике. В 1912 году уехал в Петербург, а в 1917-м стал членом партии большевиков. Верность идеям коммунизма сохранил до конца своей жизни, поэтому и сыновьям дал имена пламенных революционеров: Маркс и Жорес. Причем имя Жорес отец произносил, ставя ударение на первом слоге. Первое имя, понятно, дано в честь К.Маркса, а Жорес - в честь Жана Жореса, основателя газеты Юманите и руководителя Французской социалистической партии.

В годы гражданской войны отец, И.К.Алферов, с оружием в руках защищал Советскую власть. Сохранилась мемориальная плита на месте захоронения погибших в бою под Лепелем красноармейцев - боевых товарищей Ивана Карповича. Всякий раз, наведывая родные места, он приходил поклониться этой могиле.

Старший брат, Маркс Иванович Алферов, пройдя Сталинград, Харьков, Корсунь-Шевченковскую битву, в 20 лет погиб в бою.

После войны семья жила в Минске. Иван Карпович прошел путь от красноармейца до директора завода, а затем главы целлюлозно-бумажного треста. Не раз в те трудные годы помогал землякам. Его хорошо помнят бывшие работники чашникской бумажной фабрики Красная звезда. Жорес закончил минскую СШ № 42 и уехал учиться в Ленинград. По словам ученого, он уже в 10 лет собрал свой первый детекторный приемник. Главную роль в такой ранней специализации будущего нобелевского лауреата сыграл преподаватель физики единственной в разрушенном послевоенном Минске русской мужской средней школы № 42 Яков Борисович Мельцерзон. Я, пораженный его рассказом о работе катодного осциллографа и принципах радиолокации, поехал учиться по его совету в Ленинград, в Электротехнический институт (ЛЭТИ), - вспоминает Жорес Алферов. - Радости моей не было границ, что моя счастливая жизнь в науке была предопределена этим решением. В письме родителям, жившим тогда в Минске, он писал о выпавшем ему огромном счастье работать в институте Абрама Федоровича Иоффе.

Став ученым с мировым именем, Жорес Иванович сохранил верность отцовским убеждениям: Ж.И.Алферов сегодня представляет фракцию КПРФ в Госдуме России.

Последнюю нобелевскую награду по физике в XX веке (а век уходящий недаром называют веком физики) поделили между собой трое ученых: два американца - Герберт Кремер и Джек Килби (причем один из них, Кремер, американец немецкого происхождения - тоже символично) и российский академик Жорес Алферов, выходец из Беларуси. Тут тебе и история, и геополитика, и просто политика. Все акценты уходящего века расставлены точно!

А в воскресенье весь мир видел торжественную церемонию вручения в Стокгольме Ж.И.Алферову Нобелевской премии. Вот несколько фраз, произнесенных нобелевским лауреатом: Вручение премии очень важно для поддержки науки. Это не просто большая радость для меня. Мы - страна оптимистов, потому что пессимисты все уехали. А мы вот остались здесь и будем трудиться, чтобы страна наша не только выжила, но стала бы наконец нормально развиваться.



УДК 622.838.5

ОЦЕНКА МИНИМАЛЬНО ДОПУСТИМОЙ ШИРИНЫ ЦЕЛИКОВ МЕЖДУ ШТРЕКОМ И ВЫРАБОТАННЫМ ПРОСТРАНСТВОМ

¹Смычник А.Д., ²Прушак В.Я., ³Дакуко С.Н., ³Кислов Н.В., ³Уразов Д.Н.

ОАО «Белгорхимпром», г. Минск, Беларусь

ЗАО «Солигорский Институт проблем ресурсосбережения с Опытным производством»,

г. Солигорск, Беларусь

Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Беларусь

Введение

При бесцеликовых технологиях обработки пластов полезных ископаемых лавами и управления кровлей полным обрушением применяются различные варианты охраны участковых подготовительных выработок, расположенных со стороны выработанного пространства, основанные на применении бутовых и литых полос из быстротвердеющих материалов, органной крепи, костров и других искусственных сооружений [1, 2]. Вместе с тем, до настоящего времени широкое распространение имеют способы охраны штреков целиками полезного ископаемого. Основные требования, предъявленные к целикам, заключаются в обеспечении устойчивости подготовительной выработки в зоне влияния очистных работ и саморазрушения целика в выработанном пространстве после выполнения функций по охране выработки.

Несущая способность целиков зависит от конкретного сочетания геологических и горно-технических факторов [3, 4]: физико-механических свойств слагающих целик слоев (для пластовых залежей), срока службы целика, формы целика и его строения, глубины горных работ, размеров отработанных площадей. Калийные и угольные пласты сложены в большинстве случаев слоями (пачками), которые отличаются физико-механическими свойствами. Так, между силвинитовыми слоями расположены прослой глины и галита, что при определенном соотношении их мощности может существенно влиять на несущую способность целика.

Методика исследований

При рассмотрении известных методик расчета напряжений в целике и его ширины необходимо рассматривать несколько ситуаций, при которых целик будет испытывать максимальные величины нагрузок. Для предложенной технологической схемы отработки калийного пласта на участках шахтных полей с ограниченными размерами [5] основными периодами существования целика являются [6]:

1) период нахождения целика в зоне влияния опорного давления лавы, обрабатываемой участок панели до разворота (рис. 1, а);

2) период в зоне влияния статического опорного давления, формирующейся у краевой части целика (рис. 1, б);

3) период в зоне влияния опорного давления после разворота лавы (рис. 2).

Наибольшее отрицательное влияние (наибольшую нагрузку) целик будет испытывать в сечении А–А (рис. 2), где суммируются величины статического и динамического опорных давлений (ситуация 3).

Задачи расчета целиков заключаются в следующем:

1) расчет несущей способности целиков с учетом и без учета фактора времени;

2) определение нагрузки, действующей на целик;

3) обоснование коэффициента запаса прочности целика.

Расчетами нагрузок и необходимой ширины целиков занимались М.М. Протождяконов, Ф.П. Бублик, Г.А. Иванов, А.А. Борисов и др. [3, 4, 6–8].

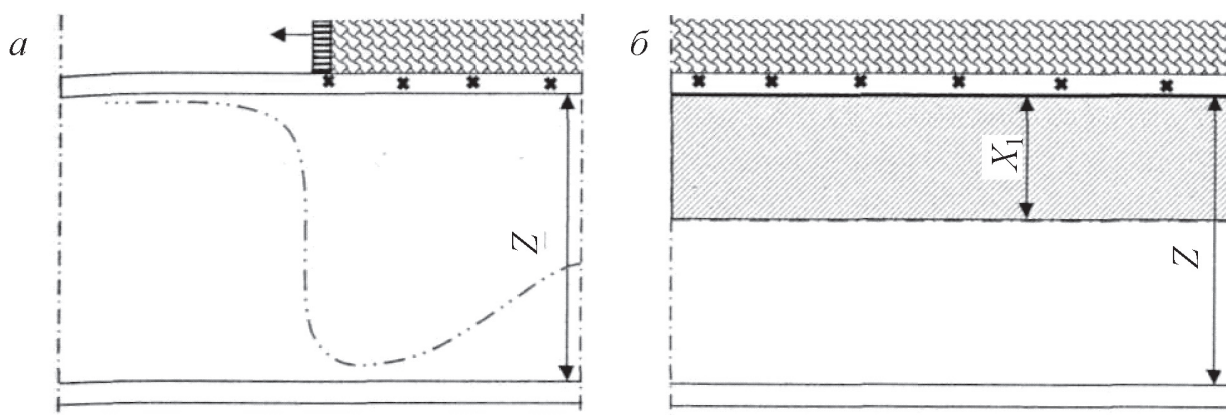


Рис. 1. Расположение зон опорного давления относительно краевых частей массива полезного ископаемого: а — динамического (впереди лавы); б — статического (у неподвижной краевой части массива); X_1 — ширина зоны опорного давления; Z — ширина целика: - · - · - граница зоны статического опорного давления над краевой частью массива; - · - · - граница зоны динамического бокового опорного давления лавы

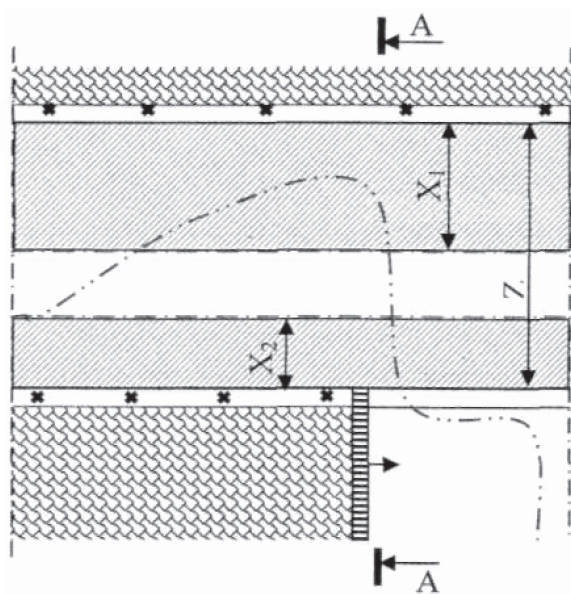


Рис. 2. Расположение зон опорного давления относительно краевых частей массива полезного ископаемого после разворота лавы:

X_1 (X_2) — ширина зоны опорного давления;
 Z — ширина целика

Впервые решение задачи расчета нагрузок на околострековые целики было предложено М.М. Протодяконовым [6], который принял допущение о распределении опорного давления по закону прямой линии. Для определения ширины целика была предложена формула, которая использовалась долгое время для решения практических задач. Недостатком методики, предложенной М.М. Протодяконовым, является то, что она не учитывает совместности перемещения блоков (слоев), влияние времени и действительные

распределения статического опорного давления по ширине целика, что в ряде случаев отрицательно сказывается на результатах расчетов.

Согласно методу Ф.П. Бублика с соавторами [7], расчет нагрузки P , МН/м, на единицу длины целика, исходя из предложенной расчетной схемы, выполняется по формуле

$$P = \left[b g \rho H + \frac{1}{2} g \rho H^2 (\operatorname{ctg} \psi + \operatorname{ctg} \psi') \right] 10^{-6}, \quad (1)$$

где b — ширина целика, м; g — ускорение свободного падения, м/с²; ρ — плотность породы в массиве, кг/м³; H — глубина расположения целика, м; ψ и ψ' — углы полных сдвижений пород кровли.

Принятая в источниках [6, 7] расчетная схема вполне удовлетворительно раскрывает сущность нагружения целика породами кровли. Однако ей присущи недостатки, заключающиеся в использовании при выводе формулы (1) равных шагов обрушения для всех почек покрывающей толщи, что имеет место в редких случаях, исключены действия изгибающих моментов от консолей блоков кровли над краевыми частями целика и пригрузки на них от смежных с ними блоков.

В основу расчета нагрузок на целик и его ширины по методике ВНИМИ [3] положено условие, что весь целик находится в предельно-напряженном состоянии. При этом максимум опорного давления находится в центре целика или расположен над его краевыми частями.

Предельная ширина ленточного целика — ширина, при которой весь целик переходит в предельно-напряженное состояние. Этот параметр определяется перекрытием зон необратимых

деформаций и зависит с одной стороны от величины нагрузки, приходящейся на целик, с другой — от показателя прочности целика, например $\sigma_{\text{куб}}$ (прочность породы на сжатие, МПа).

Расчетная схема представлена на рис. 3. Предельную ширину целика определяют исходя из оценки предельного размера $2L_{\text{П}}$ целика:

$$2L_{\text{П}} = \alpha 2x_0, \quad (2)$$

где $2x_0$ — общий пролет выработки, разделенной целиком; α — множитель, значения которого определяют по графику (рис. 4, [3]) в функции от D :

$$D = \frac{k_0 x_0}{g \rho H h}, \quad (3)$$

где $k_0 = 1,3\sigma_{\text{куб}}$ ($\sigma_{\text{куб}}$ — прочность породы на сжатие, МПа); ρ — плотность пород в массиве, кг/м³; H — глубина расположения целика, м; h — вынимаемая мощность, м.

Параметр τ :

$$\tau = (1 - \alpha) \frac{S_2 - S_1}{S_2 + S_1}. \quad (4)$$

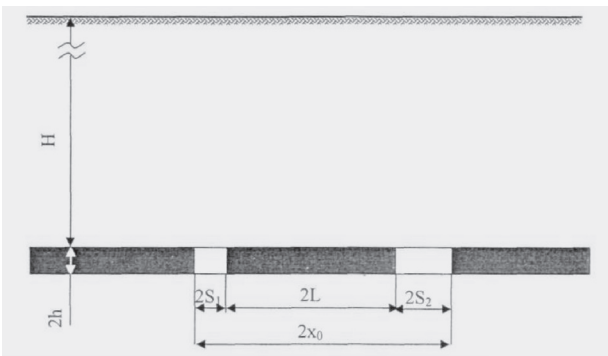


Рис. 3. Расчетная схема ВНИИИ:

h — вынимаемая мощность; $2S_1$ и $2S_2$ — ширина выработок; L — ширина целика

Расчет проводится с использованием метода последовательных приближений. На первом этапе в выражении для τ полагается, что $\alpha = 0$ и по графику (рис. 4) находится значение α , которое используется на втором этапе. Процесс повторяется, пока два последующих значения α не будут практически совпадать. После этого используется формула (2), определяющая размер целика.

Метод расчета нагрузок на целик для охраны штрека, расположенного со стороны выработанного пространства, был усовершенствован в 2003 году и представлен в работе [4]. Сущность методики состоит в том, что зона опорного давления распространяется вглубь массива примерно на расстояние $2l_0$. Однако заметное влияние опорного давления на краевую часть массива не превышает

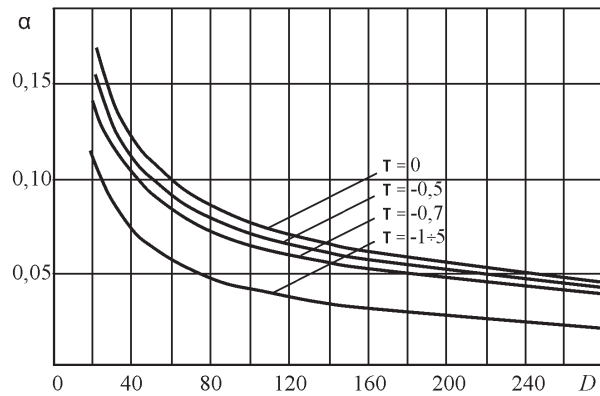


Рис. 4. График для выбора значения множителя α в зависимости от D и τ

величины l_0 . В связи с этим при многострековой подготовке выемочных столбов следует рассчитывать лишь крайние целики, непосредственно примыкающие к выработанному пространству, а ширину междуштрековых целиков принимать равной 4–6 м.

Расчетная нагрузка на единицу длины такого целика P_1 , МН/м, равна

$$P_1 = \left[\frac{1}{2} g \rho H (2b + B + l_0 + H \operatorname{tg} \omega) \right] 10^{-6}, \quad (5)$$

где b — ширина целика, м; B — ширина выработки, м; ρ — плотность пород в массиве, кг/м³; H — глубина расположения целика, м.

При системах разработки с управлением кровлей полным обрушением породы кровли обрушаются с шагом l_0 (рис. 5), образуя поверхность излома, параллельную линии забоя и наклоненную от нормали к напластованию пород в сторону выработанного пространства под углом ω . Величина этого угла при первых обрушениях непосредственной и основной кровель составляет 30–35°.

Нижние слои кровли определенной мощности обрушаются и падают на почву (породы непосредственной кровли) с отрывом от массива, не участвуя в нагружении целика. Вышележащие слои основной кровли разламываются на блоки, которые, опускаясь, взаимодействуют друг с другом. По результатам шахтных наблюдений в лавах установлено, что с массивом, лежащим выше целика, имеет контакт только один крайний (последний обрушившийся) блок, а остальные ранее обрушенные блоки ложатся на породы непосредственной кровли. Породные блоки, которые примыкают к массиву или целику, поворачиваются и одной стороной ложатся на почву, а другой опираются на массив [4, 6]. Таким образом, часть своего веса блок передает на целик, а часть — на обрушенные породы (почву).

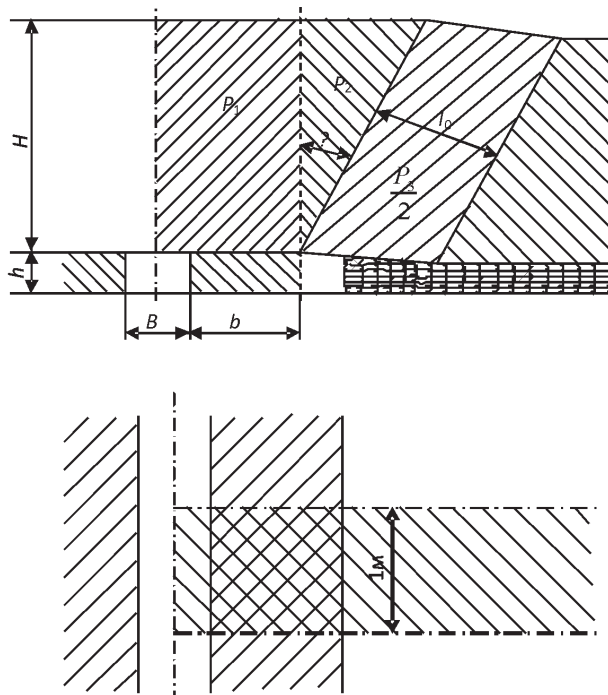


Рис. 5. Расчетная схема для определения нагрузки на целик по методике ВНИМИ [4]

Исследованиями А.А. Борисова [6] установлено, что межстолбовой целик образуется в результате двухстадийного нагружения. В начале при выемке первого столба происходит деформирование краевой части массива (кривая 2, рис. 6, б), причем эта часть будет в последующем включена в ширину целика. При выемке второго столба происходит вторичное деформирование, но теперь уже другой краевой части образованного целика (кривая 3, рис. 6, б). В результате после

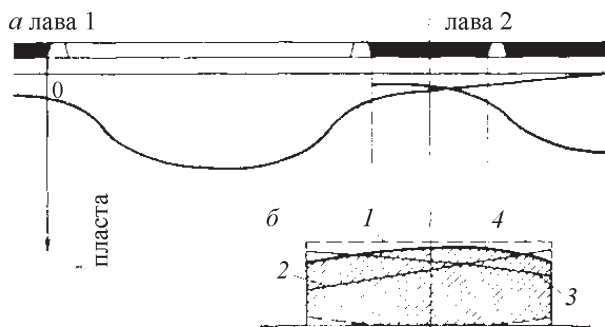


Рис. 6. Схема взаимодействия целика с вмещающими породами при управлении кровлей полным обрушением по А.А. Борисову: а — последовательность нагружения в разрезе по падению; б — характер формирования деформаций целика; 1 — до начала деформирования; 2 — после воздействия опорного давления лавы 1; 3 — то же от лавы 2; 4 — результирующая

того как целик подвергнется влияниям волн боковых опорных давлений лавы 1 и 2, его деформирование происходит по некоторой результирующей кривой (кривая 4, рис. 6, б). При выемке второго столба происходит наиболее интенсивное разрушение краевой части целика, расположенной со стороны выработки.

Следует отметить, что в рекомендуемой технологической схеме [5] мы имеем дело с аналогичной ситуацией в случае охраны повторно используемого штрека целиком полезного ископаемого, разделяющим выработанное пространство лавы, работавшей до разворота, и сохраняемый для повторного использования штрек. Исследования А.А. Борисова показали, что расчеты целиков рассматриваемого типа должны проводиться для двух случаев нагружения: на длительное действие нагрузки в зоне, расположенной позади максимума опорного давления; на кратковременное действие нагрузки, создаваемой динамическим опорным давлением лавы.

Окончательно следует принимать большую из двух полученных величин ширины целика либо разрабатывать методику для определения результирующей — при сложении статического опорного давления над краевой частью целика со стороны выработанного пространства и динамического опорного давления впереди забоя лавы, обрабатывающей столб с другой бороны от целика (рис. 6).

Характер нагружения целика зависит от его ширины. При достаточно большой ширине целик в средней части нагружается равномерно с опорным давлением $q = g\rho H$. Краевые зоны при этом в зависимости от величин их деформаций могут быть нагружены опорным давлением в пределах от 0 до q_{max} . С уменьшением ширины целика в средней его части начинается перекрытие опорных давлений и они складываются (рис. 7, а), а нагрузка в его средней части возрастает. Если $b < 2b_{кр}$ (рис. 7, б), то q_{max} обеих краевых зон совмещаются и нагрузка в средней части целика резко возрастает.

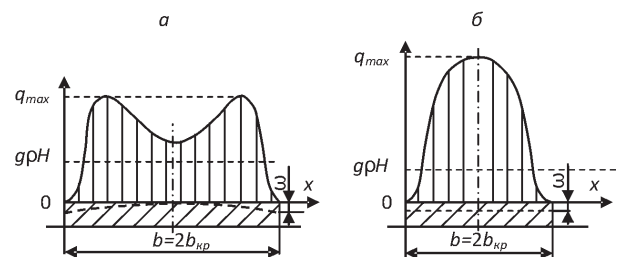


Рис. 7. Схема нагружения целика при различной его ширине

При соблюдении условия устойчивости краевых зон целика расчет его ширины предлагается вести методом последовательных приближений, начиная с минимальной ширины. В работе [3] ширину целика рекомендуется определять из выражения

$$b = \frac{\xi n}{(1 - \mu_{пл}^2) \left(1 - 2\pi\mu \frac{A_0 + B_0}{1000} \right) \sigma_{пч.сж.}} P, \quad (6)$$

где ξ — коэффициент ползучести при сжатии (1,2÷2,0); n — коэффициент запаса деформаций целика (2÷4); $\mu_{пл}$ и μ — коэффициенты Пуассона породы в целике и кровле; A_0 и B_0 — табличные значения коэффициентов, зависящие от соотношения размеров целика и коэффициентов Пуассона [3]; $\sigma_{пч.сж.}$ — предел прочности основной кровли на сжатие, МПа; P — суммарная нагрузка на единицу длины d целика, МН/м.

В монографии А.А. Борисова приводится также упрощенная формула для случая, когда $h/b = 0,1$, чему соответствует $A_0 + B_0 = 50$. Тогда при $\mu_{пл} = \mu = 0,3$ выражение (6) принимает вид

$$b = 1,22\xi n \frac{P}{\sigma_{пч.сж.}}. \quad (7)$$

При минимизации потерь полезного ископаемого в целиках их ширина варьируется в интервале от 1 до 5 м. Целик с такой шириной относится по рассматриваемой методике [6] к третьему типу ($b < b_{кр.}$). Механизм взаимодействия целика с породами покрывающей толщи заключается в следующем. Действию суммарного изгибающего момента кровли M_i противостоят консольные пачки, в основании которых залегают слои-мосты. В большинстве случаев на такой целик действует не полная толща пород до поверхности (особенно на больших глубинах разработки), а лишь пачка слоев, мощность которой определяется положением того слоя-моста, у которого прогиб над целиком меньше величины сжатия целика.

Предполагается, что

$$\sum_1^n M_i = P_{пр.} l_{пр.}, \quad (8)$$

где $P_{пр.}$ и $l_{пр.}$ — приведенные сила и пролет.

Приведенный пролет $l_{пр.}$ находят из геометрических соотношений вылетов консолей, образованных слоями-мостами [6].

Реакция R целика создает момент, действующий в противоположном направлении моменту $\sum M_i$ покрывающей толщи, и характеризуется зависимостью [6]

$$R = \frac{\lambda_{ц.пр.} P_{пр.} l_{пр.}^3}{3E_{пр.} I_{пр.} + \lambda_{ц.пр.} l_{пр.}^3}, \quad (9)$$

где $\lambda_{ц.}$ — жесткость целика; $E_{пр.}$ и $I_{пр.}$ — приведенные модуль упругости и момент инерции действующей части зависающих над целиком пород.

При малой ширине целик работает по закону линейного сжатия, поэтому

$$b = \frac{nR}{\sigma_{пч.сж.}} = \frac{n\lambda_{ц.} P_{пр.} l_{пр.}^3}{\sigma_{пч.сж.} (3E_{пр.} I_{пр.} + \lambda_{ц.} l_{пр.}^3)}, \quad (10)$$

где $n = 1,3-1,5$ — запас прочности целика с наибольшим сроком службы.

Эта методика достаточно полно отражает напряженно-деформированное состояние целика, однако не учитывает влияние опорного давления лавы после формирования целика при отработке смежного столба.

Принимая во внимание то обстоятельство, что возникновение зон опорного давления происходит возле неподвижных и перемещающихся краевых частей массива полезного ископаемого, допустимым при решении практических задач является суммирование напряжений, установленных для зон статического и динамического опорного давления.

После сложения напряжений схема нагружения искомого целика будет выглядеть следующим образом (рис. 8). Максимальные напряжения целик будет испытывать в сечении А-А на расстоянии X_{max} , которое равняется расстоянию от забоя лавы до максимума опорного давления q , формирующегося у неподвижной границы очистных работ.

До начала влияния опорного давления лавы со стороны ранее отработанного столба будет сформирована зона статического опорного давления над краевой частью целика (рис. 2).

Отметим, что в соответствии с данными, приведенными в работе [8], вокруг выработок 2 и 3 (рис. 8) образуются зоны нарушенности 4. Исходя из предложенных гипотез и исследований зон эксплуатационной трещиноватости, возникающей при подготовительных и очистных работах, зона максимальных напряжений будет иметь форму сектора 5 (рис. 8). Причем нагрузка на целик будет уменьшаться в направлении подвигания лавы.

Проведенный анализ известных методик и способов расчета предельной ширины целика показал, что методика [3] позволяет получить результаты, наиболее близкие к фактическим в условиях отработки участка по рекомендуемой схеме [5]. Результаты расчета представлены на рис. 9.

Результаты вычислений для получения более достоверных выводов о рекомендуемой ширине искомого целика целесообразно сравнивать со статистическими данными, представленными на рис. 10, где пунктирной линией обозначены

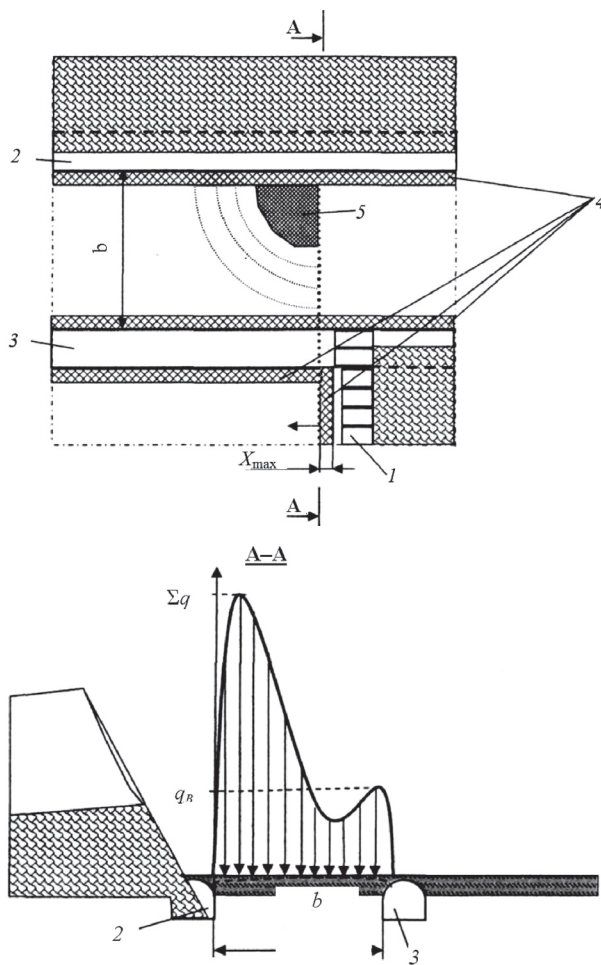


Рис. 8. Схема формирования нагрузок на целик:
1 — лава; 2 — конвейерный штрек ранее отработанного столба; 3 — конвейерный штрек обрабатываемого столба; 4 — зоны эксплуатационной трещиноватости, возникающие в окрестностях выработок; 5 — зона максимальных напряжений, действующих на целик

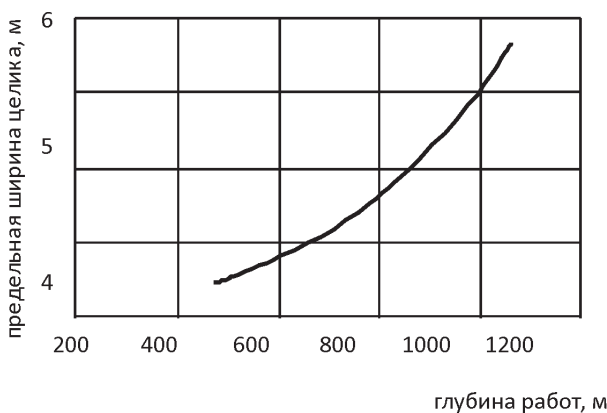


Рис. 9. Зависимость предельной ширины целика от глубины горных работ для условий отработки IV сильвинитового слоя Третьего калийного пласта

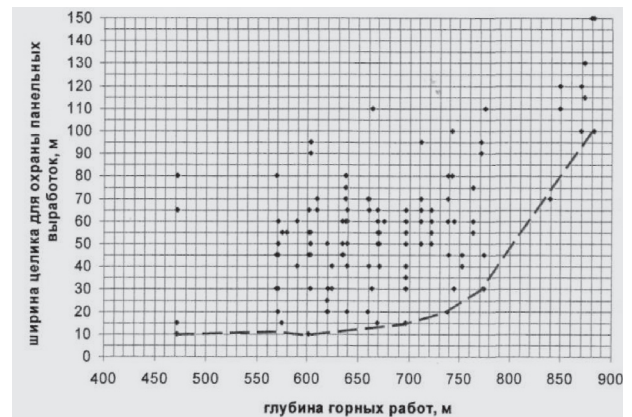


Рис. 10. Фактические значения ширины целиков, оставляемых для охраны панельных выработок в пределах шахтных полей РУП «ПО «Беларуськалий»» (пунктирной линией обозначены минимальные значения)

минимальные размеры целиков, оставленных для охраны выработок, используемых при отработке смежных столбов. Такое сравнение целесообразно проводить для исследуемых условий разработки, т.к. это обеспечивает определение коэффициента корректировки результатов расчета по рассмотренным ранее методикам и учитывает неоднократное воздействие опорного давления лавы на состояние целика. Например, для методики расчета, представленной в работе [3], коэффициент корректировки составляет 3,9–10,0 и более при глубинах разработки 500–1000 м. Заметим, что эти коэффициенты являются минимальными.

К числу факторов, оказывающих существенное влияние на выбор расположения участковых подготовительных выработок относительно краевых частей горного массива, относятся параметры зон повышенной нарушенности пород непосредственной кровли трещинами эксплуатационного происхождения [11]. Если этот фактор не учитывать, то могут существенно увеличиться затраты на ремонтно-восстановительные работы в выработках и снизится безопасность труда. Особое значение приобретает расположение зон с повышенной нарушенностью пород кровли, когда в качестве основной крепи подготовительных выработок используется анкерная крепь, не предназначенная для применения в сильнотрещиноватых неустойчивых породах.

Проведенные исследования показали, что в окрестности участковой подготовительной выработки в общем случае следует различать три характерные области повышенной трещиноватости.

Область А (рис. 11) непосредственно прилегает к подготовительной выработке 2, погашенной

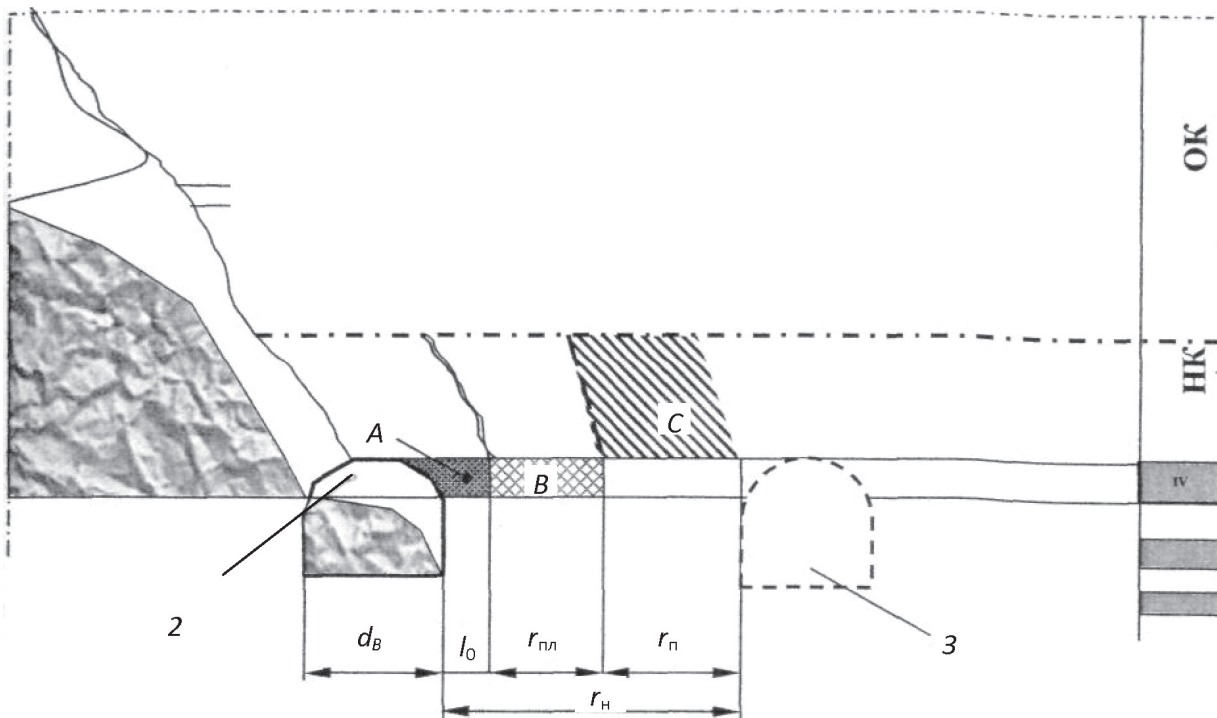


Рис. 11. Расчетная схема для определения места расположения присечной выработки

при отработке столба до разворота лавы. Размеры этой области зависят, главным образом, от способа проведения выработки и физико-механических свойств вмещающих пород. Максимальная ширина зоны нарушенных пород наблюдается при буровзрывном способе проведения выработок, минимальная — при комбайновом. По данным шахтных исследований [10–12], выполненных для широкого диапазона изменения горно-геологических условий, глубина распространения области *A* в массив (l_0 , рис. 11) обычно не превышает 0,3–0,5 м. Породы непосредственной кровли, расположенные в пределах области *A*, как правило, неустойчивы и обрушаются при их обнажении.

После проведения выработки активизируется процесс образования зон повышенной трещиноватости в массиве вмещающих пород за пределами области *A*. Этот процесс начинается с наиболее слабого элемента, которым в большинстве случаев является пласт полезного ископаемого.

Переход участков пласта в предельное состояние и разрушение происходят последовательно с распространением зоны запредельного состояния вглубь массива. Разрушенный пласт в пределах области *B* (рис. 11) сохраняет остаточную несущую способность и, благодаря этому, создает силы отпора, препятствующие увеличению области запредельного состояния. Таким образом, по

мере разрушения пласта полезного ископаемого величина бокового давления уменьшается вследствие перераспределения нагрузок на большую площадь, что, в конечном итоге, приводит к прекращению процесса трещинообразования в пласте. Затуханию процесса разрушения пласта способствует также его защемление опускающимися породами кровли.

На момент прекращения процесса разрушения пласта полезного ископаемого максимум опорного давления будет расположен вблизи границы зоны неупругих деформаций в пласте со стороны нетронутого массива.

При величинах напряжений в зоне опорного давления, превышающих прочности пород непосредственной кровли на одноосное сжатие, и относительно небольших силах бокового отпора возможно разрушение пород кровли на удалении от выработанного пространства, превышающем глубину $l_{пл}$ распространения в массив зоны запредельного состояния в пласте полезного ископаемого. Разрушение пород непосредственной кровли происходит последовательно от элемента к элементу по схеме: разрушение — перераспределение напряжений — разрушение. По мере распространения области *C* запредельного состояния пород непосредственной кровли вглубь массива интенсивность процесса разрушения уменьшается,

что связано с увеличением сил бокового отпора и снижением концентрации напряжений в зоне опорного давления.

Образование зоны неупругих деформаций в породах непосредственной кровли наиболее вероятно при залегании выше нее труднообрушающихся пород, склонных к значительным зависаниям при их обнажении. В этом случае не происходит защемления пород непосредственной кровли над зоной разрушенного пласта. Поэтому величины бокового отпора характеризуются минимальными значениями.

Резкой активизации процесса перехода непосредственной кровли в предельное состояние способствуют разломы слагающих ее породных слоев над границей зоны запредельного состояния пласта от изгиба или скола.

Выводы

1. Известные методы оценки и расчета предельной ширины целика не могут непосредственно без корректировки использоваться при отработке калийных пластов на рудниках РУП «ПО «Беларуськалий»». Расчетные и фактические величины отличаются друг от друга в 3,2 раза и

более для глубин разработки 500–1000 м. При расчете предельной ширины целика наиболее близкие результаты позволяет получить методика ВНИМИ [3].

2. Для выбора места расположения присечной выработки, проводимой вслед за подвиганием лавы, отработывающей столб до разворота, целесообразно использование метода расчета ширины зон эксплуатационной трещиноватости, основанного на проведении присечного штрека за пределами зоны эксплуатационной трещиноватости, формирующейся вследствие влияния на массив горных пород подготовительных и очистных работ. По результатам расчета ширина целика между проводимой выработкой и выработанными пространствами составляет 1,6–2,4 м для диапазона глубин разработки 500–1000 м. Ширина зоны эксплуатационной трещиноватости в окрестности присечной выработки, поддерживаемой на границе с выработанным пространством в условиях отработки Третьего калийного пласта, изменяется от 1,0–1,5 м на глубинах разработки 500–600 м до 3,0–5,3 м на глубинах разработки более 800 м.

Литература

1. Бурчаков, А.С. Процессы подземных горных работ / А.С. Бурчаков, Н.К. Гриноко, Л.И. Очерняк. — М.: Недра, 1982.
2. Бахтин, А.Ф. Бесцеликовые схемы подготовки и отработки пологих пластов / А.Ф. Бахтин, Ю.К. Батманов, Н.К. Таратута // Уголь. — 1982. — № 7. — С. 27–31.
3. Расчет и экспериментальная оценка напряжений в целиках и краевых частях пласта угля: метод. указания ВНИМИ. — Л., 1973.
4. Методическое руководство по выбору геометрических параметров технологии разработки угольных пластов короткими забоями. — СПб. — 2003. — С. 28–52.
5. Зубов, В.П. Способ подземной разработки пластов на участках с ограниченными размерами: пат. 2282720 РФ, МПК7 Е 21 С 41/20 / В.П. Зубов, Д.В. Уразов; заявл. 18.04.05; опубл. 15.09.06 // Бюлл. № 9. — 2006.
6. Борисов, А.А. Механика горных пород и массивов / А.А. Борисов. — М.: Недра, 1980. — 360 с.
7. Бублик, Ф.П. К вопросу определения нагрузки на предохранительные и барьерные целики / Ф.П. Бублик, Г.А. Иванов, А.В. Плахов // Уголь. — 1974. — № 2. — С. 3–5.
8. Зубов, В.П. Методические рекомендации по предотвращению вывалов пород из кровли в лавах, отработываемых на больших глубинах в условиях шихт Восточного района Донбасса: метод. рекомендации / В.П. Зубов, С.С. Андрушкевич, А.А. Иванов. — Шахты, 1986. — С. 21–26.
9. Зубов, В.П. Метод оценки параметров областей с повышенной нарушенностью пород кровли над краевыми частями угольного массива / В.П. Зубов, Г.И. Козовой, А.Б. Соколов // Горное оборудование, переработка минерального сырья, новые технологии, экология: сб. докладов III Междунар. конф., Л.: СППГИ(ТУ), 1998. — С. 44–50.
10. Сребный, М.А. Выбор места расположения присечной выработки при труднообрушаемых породах кровли / М.А. Сребный, Н.М. Чельцова, Н.Е. Костомаров // Уголь. — 1982. — № 9. — С. 17–19.
11. Чельцова, Н.М. Опыт охраны выемочных штреков в условиях труднообрушаемых кровель / Н.М. Чельцова // Уголь. — 1986. — № 7. — С. 15–17.
12. Арбашев, К.А. Поддержание выработок при отработке мощных пологих пластов / К.А. Арбашев // Уголь. — 1983. — № 9. — С. 27–29.

УДК 622.363.2:622.211

ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ СХЕМА ОТРАБОТКИ КАЛИЙНОГО ПЛАСТА НА УЧАСТКАХ ШАХТНЫХ ПОЛЕЙ С ОГРАНИЧЕННЫМИ РАЗМЕРАМИ

¹Смычник А.Д., ²Прушак В.Я., ³Дакуко С.Н., ²Ищенко Р.В.

ОАО «Белгорхимпром», г. Минск, Беларусь

ЗАО «Солигорский Институт проблем ресурсосбережения с Опытным производством»,
г. Солигорск, Беларусь

Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Беларусь

Перспективным направлением повышения технико-экономических показателей очистной выемки в условиях калийных рудников РУП «ПО «Беларуськалий») является использование при отработке участков с ограниченными размерами систем разработки полезного ископаемого с разворотом лавы без демонтажа очистного оборудования.

Основным недостатком известных технологических схем с разворотом лав на границе панелей являются значительные эксплуатационные потери полезного ископаемого в целиках, достигающие 33 % балансовых запасов панели и большая удельная протяженность подготовительных выработок [1].

Как следует из проведенных исследований [1], к числу основных тенденций, влияющих на выбор технологических схем отработки Третьего калийного пласта на рудниках РУП «ПО «Беларуськалий»), относятся:

1) увеличение производительности очистных механизированных комплексов и времени их эффективной эксплуатации до ремонта;

2) увеличение с ростом глубины потерь полезного ископаемого, оставляемых в целиках и между столбами (эксплуатационные потери в целиках достигают 65 %);

3) увеличение числа участков шахтных полей с размерами, которые меньше оптимальной длины столба при использовании современных очистных механизированных комплексов. Длины столбов, подготавливаемых к отработке в ближайшие 10–20 лет, по IV-му слою на 40–50 % не соответствуют оптимальному значению. На строящихся рудниках (Краснослободский и Березовский) таких участков около 80 %.

Эффективная отработка участков с ограниченными размерами может быть достигнута с применением технологических схем, которые должны обеспечить минимальные потери полезного ископаемого в недрах; сократить объемы горноподготовительных работ и затраты на подготовку панели; увеличить длину выемочных столбов до значений, близких к оптимальным.

Для отработки IV-го сильвинитового слоя Третьего калийного пласта предлагается три варианта технологической схемы.

Вариант № 1. Для подготовки панели по IV сильвинитовому слою проходят штреки 1, 2, 3, 5 и сбойки 4. В случае одновременной проходки этих выработок очистные работы можно начинать при неполном оконтуривании панели подготовительными выработками (рис. 1). Это позволит сократить срок ввода в эксплуатацию новой лавы и увеличить пространственную концентрацию работ в панели. Схема проветривания и транспорта обеспечивается посредством технологических сбоек, расположенных в поле лавы. По ним подается свежая струя воздуха, транспортируется руда, добытая от проходки выработки.

Сущность технологической схемы (рис. 2) заключается в отработке участка ограниченных размеров с разворотом лавы на его границе и оставлением целика шириной Z между столбами, обрабатываемыми до и после разворота [3]. При выемке столба полезного ископаемого на 1-м этапе лава движется от выработок главного направления к границе выемочного участка. Здесь осуществляют разворот лавы, после чего производят отработку столба в противоположном направлении до выработок главного направления (2-й этап).

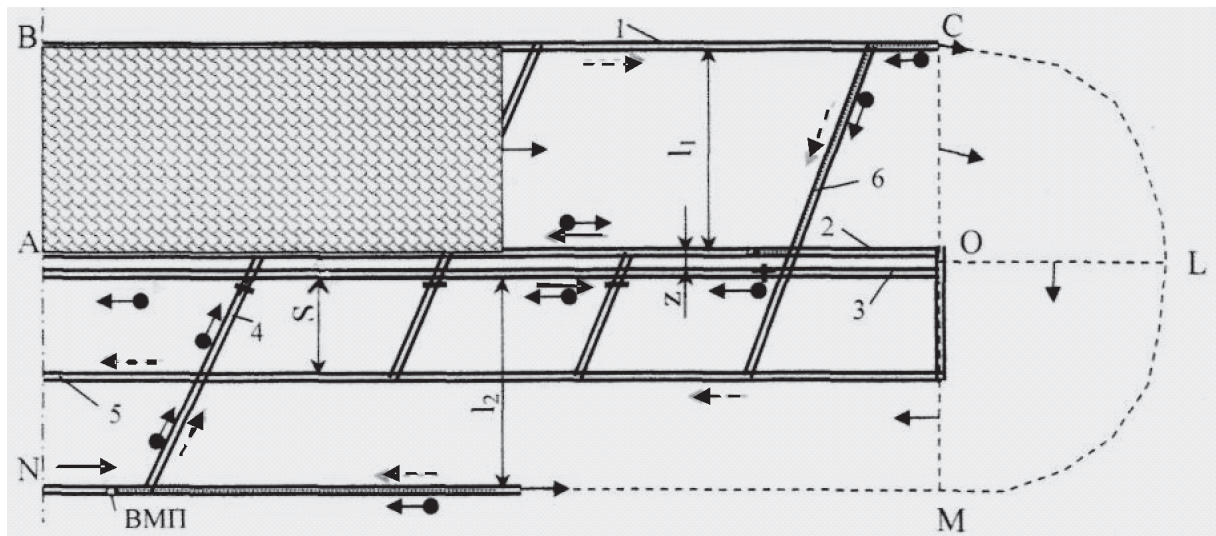


Рис. 1. Схема проветривания и транспорта руды в начале очистных работ до полного оконтуривания панели горными выработками:

1 — обводной штрек; 2 — конвейерный штрек лавы, отрабатывающей столб до разворота; 3 — панельный конвейерный штрек; 4 — технологические сбойки; 5 — панельный вентиляционный штрек; 6 — вентиляционная сбойка; Z — ширина целика для охраны штрека 3; S — ширина охранного целика для выработки 5; l_2 — длина лавы после разворота; l_1 — то же до разворота; + — конвейерное окно

Схема транспорта в период работы лавы до разворота (рис. 2, а): лава — (2 — 4 — 3) — выработки главного направления — околоствольный двор.

Схема транспорта из лавы в период работы лавы при развороте: лава — (4' — 3) — выработки главного направления — околоствольный двор.

Схема транспорта из лавы в период после ее разворота (рис. 2, б): лава — 3 — выработки главного направления — околоствольный двор.

Транспорт руды, добываемой при проведении обводной выработки 1, производится по выработкам (1 — 6 — 3) — выработки главного направления. Для обеспечения отвода отработанной струи по сбойке 6 на панельный вентиляционный штрек 5 и несмешивания струй (рис. 1) на конвейерном штреке 3 устанавливают конвейерное окно.

Проветривание лавы в период ее работы до разворота при неполном оконтуривании участка подготовительными выработками осуществляется следующим образом (рис. 1): главный транспортный штрек — (3 — 4 — 2) — лава — (1 — 6 — 5) — главный вентиляционный штрек. Проветривание лавы в период ее работы до разворота при полном оконтуривании участка подготовительными выработками (рис. 2, а): главный транспортный штрек — (3 — 4 — 2) — лава — 1 — главный вентиляционный штрек. Проветривание лавы в период разворота: главный транспортный штрек — (3 — 4) — лава — (1 — 5) — главный вентиляционный штрек.

Проветривание лавы в период после разворота (рис. 2, б): главный транспортный штрек — 3 (1) — лава — 5 — главный вентиляционный штрек.

Схема вентиляции после разворота несколько меняется с появлением вентиляционного штрека, разделяющего лаву на 2 части. Свежая струя поступает в лаву по бортовым (конвейерному и обводному) штрекам, а выходит по центральному (вентиляционному) штреку. Эта схема широко используется на Старобинском месторождении при выемке сильвинита двухкомбайновыми механизированными комплексами.

Доставка людей может проводиться по выработке 1 второго столба и далее по сбойке 4.

По сравнению со схемами, применяемыми в настоящее время на рудниках РУП «ПО «Беларуськалий»», [2], широкая реализация приведенного варианта позволяет:

1) сократить потери полезного ископаемого в целике, оставляемом между участками, отработанными до и после разворота лавы. Потери полезного ископаемого в известных вариантах составляют 30–60 %, в рекомендуемом варианте — 5–7 %;

2) уменьшить объемы горно-проходческих работ. В настоящее время при подготовке панели проходят до 10 горных выработок. При реализации рекомендуемой технологической схемы для подготовки панели необходимо пройти 5 выработок.

К числу основных параметров рекомендуемой технологической схемы относится ширина

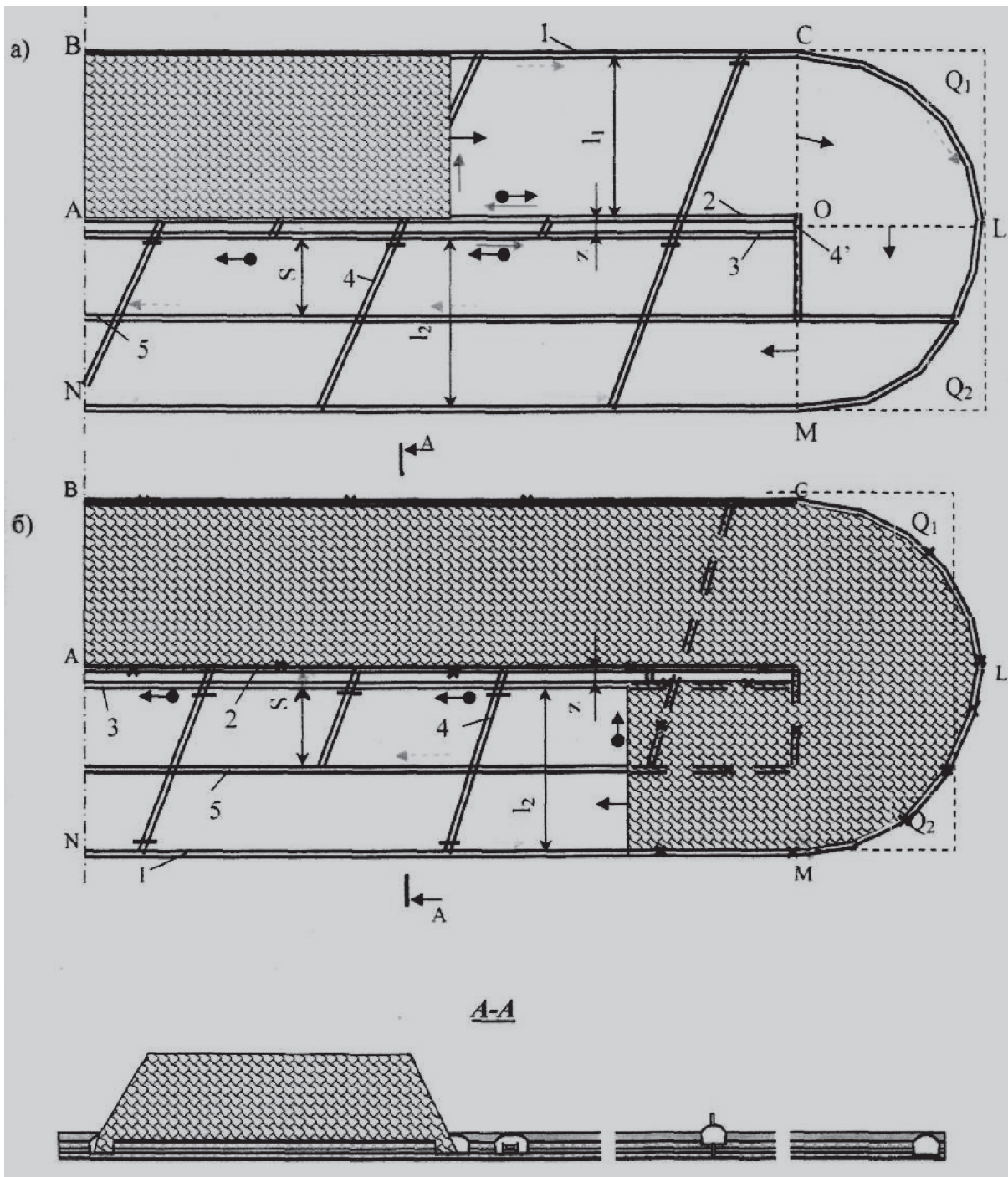


Рис. 2. Технологическая схема с разворотом лавы (Вариант № 1), рекомендуемая при отработке IV сивинитового слоя:

1 — обводной штрек; 2 — конвейерный штрек лавы, обрабатывающей столб до разворота;
 3 — панельный конвейерный штрек; 4, 4' — технологические сбойки; 5 — панельный вентиляционный штрек; Z — ширина целика для охраны штрека 3; S — ширина охранного целика для выработки 5;
 l_1 — длина лавы до ее разворота; l_2 — длина лавы после ее разворота

целика Z . Главной функцией этого целика является обеспечение удовлетворительного состояния

выработки 3 в период отработки участка после разворота лавы. После выполнения указанной

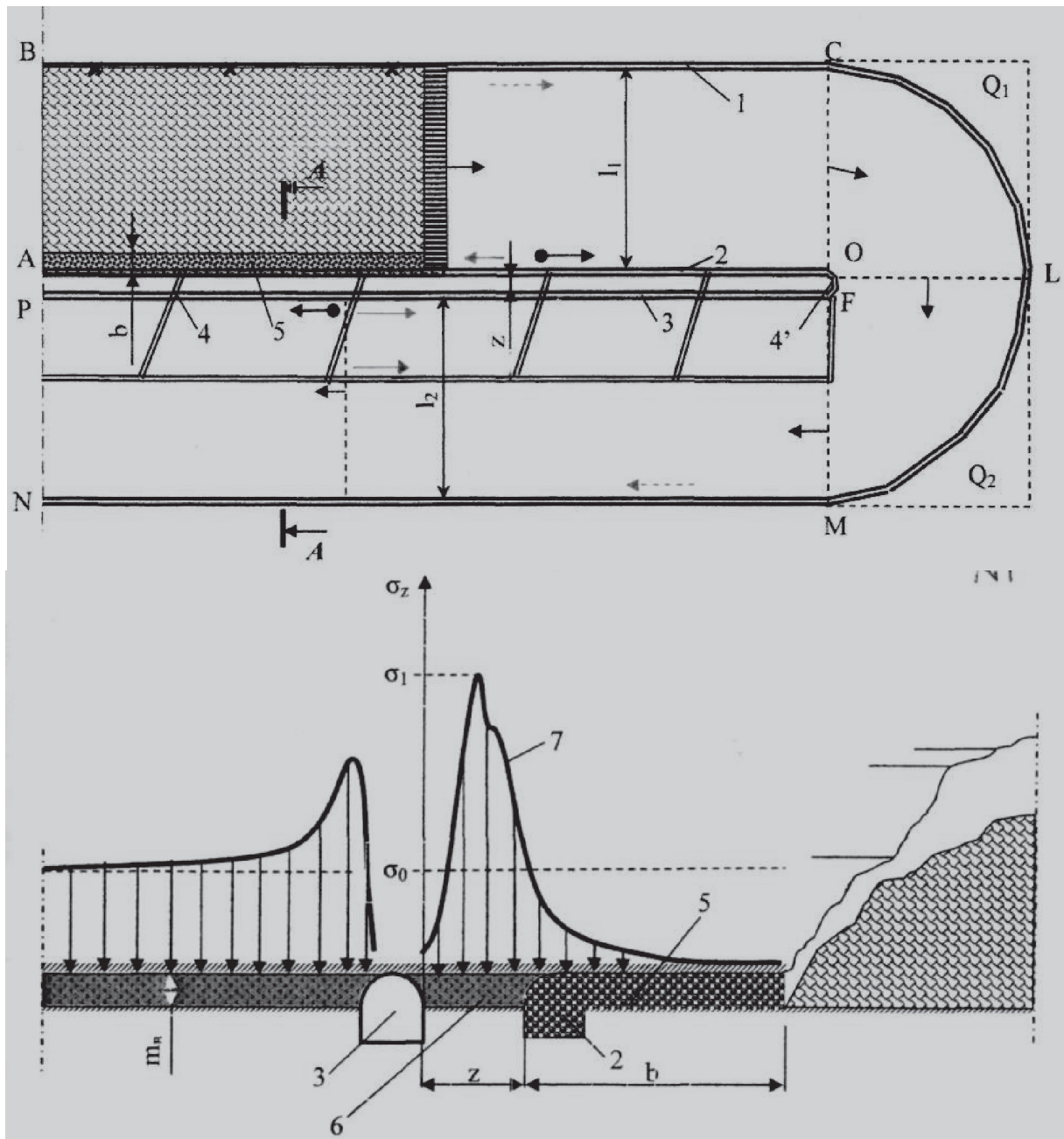


Рис. 3. Технологическая схема с разворотом лавы (вариант № 2), рекомендуемая при отработке IV сильвинитового слоя:

1 — обводной штрек; 2 — конвейерный штрек лавы, обрабатывающей столб до разворота;
 3 — панельный конвейерный штрек; 4 — технологические сбойки; 5 — породная полоса;
 Z — ширина целика для охраны штрека 3; b — ширина породной полосы; l_1 и l_2 — длина лавы до и после разворота; σ_0 — геостатическое горное давление; σ_1 — повышенное опорное давление

функции целик должен разрушиться в выработанном пространстве под воздействием горного давления, чтобы не создавать проблем в лавах нижнего технологического слоя.

Вариант № 2. Эта схема (рис. 3 [3]) отличается от приведенной (рис. 2) тем, что охрана штрека 3 прово-

дится целиком совместно с породной полосой, созданной при отработке участка в период до разворота лавы.

Для подготовки панели по IV сильвинитовому слою проходят штреки 1, 2, 3, 5 и сбойки 4. Причем при реализации схемы все выработки должны быть пройдены до начала очистных работ.

Сущность предлагаемой технологической схемы (рис. 3) отличается от схемы по варианту № 1 (рис. 2) тем, что формирование породной полосы за лавой осуществляется для обеспечения повторного использования штрека 3 при отработке участка после разворота лавы. При выемке столба полезного ископаемого на 1-м и 2-м этапах (рис. 3) все операции выполняются по варианту № 1 (рис. 2).

Схемы транспорта из лавы (рис. 3) аналогичны схемам по варианту № 1. Возможна и другая схема транспорта.

Проветривание лавы в период работы ее до разворота (рис. 3): главный транспортный штрек – (3 – 4 – 2) – лава – 1 – главный вентиляционный штрек. Проветривание лавы в период разворота: главный транспортный штрек – (3 – 4) – лава – 1 – главный вентиляционный штрек. Проветривание лавы в период работы ее после разворота: главный транспортный штрек – 3 – лава – 1 – главный вентиляционный штрек.

Вариант № 2 технологической схемы позволяет:

1) сократить потери полезного ископаемого в целике, оставляемом между участками, которые отработаны до и после разворота лавы (на 5–7 %). Кроме того, по сравнению с рекомендуемым вариантом № 1, возведение породной полосы 5 позволяет уменьшить потери полезного ископаемого в целике Z (рис. 3), который оставляют между участковыми подготовительными выработками 2 и 3 за счет уменьшения его ширины. При возведении породной полосы шириной b , превышающей в 3–4 раза вынимаемую мощность разрабатываемого пласта, в средней ее части с течением времени формируется уплотненное ядро (область) с высокой несущей способностью. При выполнении данных условий породная полоса создает препятствия разрушению целика. Мощность слоя, для выемки которого рекомендована эта технологическая схема, составляет 1,0–1,4 м. Применяемые на рудниках закладочные комплексы позволяют создавать породные полосы шириной 25–30 м по кровле;

2) уменьшить объем горно-проходческих работ. Возможность повторного использования участковой подготовительной выработки 3 связана с созданием условий для отработки второго столба с минимальными потерями полезного ископаемого. Наличие породной полосы 5 к моменту завершения отработки первого столба позволяет (по условиям проветривания и транспорта полезного ископаемого) продолжать отработку выемочного поля без оставления целика Z значительной ширины между участковыми выработками 2 и 3.

Таким образом, для подготовки панели с применением варианта № 2 необходимо провести 4 выработки на всю длину. В отличие от варианта № 1, недостатком схемы является невозможность пуска лавы до полного оконтуривания участка горными выработками.

К числу основных параметров технологической схемы по варианту № 2 относятся ширина целика Z и ширина породной полосы b (рис. 3). Основная функция поддержания выработки 3 в удовлетворительном состоянии выполняется в основном породной полосой.

Вариант № 3. Недостатком всех технологических схем, предусматривающих разворот лавы, является неизбежное оставление целиков полезного ископаемого в угловых участках Q_1 и Q_2 (рис. 1–3). Устранить недостаток позволяет технологическая схема, приведенная в работах [3, 4].

Для подготовки панели по IV сильвинитовому слою проходят штреки 1, 2, 3, 5 и сбойки 4. При использовании этой схемы (рис. 4) все выработки должны быть пройдены до начала очистных работ.

Сущность этой технологической схемы состоит в том, что одновременно с отработкой участка до начала разворота лавы производят отработку параллельными камерами угловых участков панели CDJ и MQJ с оставлением междукамерных целиков одинаковой ширины Z_1 . Отработку угловых участков завершают до подхода лавы к месту начала ее разворота на расстояние, превышающее ширину зоны опорного давления, формирующегося впереди забоя лавы $L_{од}$ (рис. 4). Податливость h междукамерных целиков полезного ископаемого при их равномерной частичной отработке определяют из выражения

$$\varepsilon_y < h < \varepsilon_{кр},$$

где ε_y — деформации упругого восстановления пород кровли, залегающих над целиком, при их полной разгрузке от горного давления; $\varepsilon_{кр}$ — предельные величины опускания пород кровли над междукамерными целиками полезного ископаемого, в случае превышения которых происходит разрушение пород кровли, расположенных над междукамерными целиками.

Положительный эффект при использовании этого способа разработки достигается тем, что при опережающей равномерной частичной выемке камерами целиков полезного ископаемого, оставляемых на границах выемочных участков, происходит разгрузка массива от повышенного горного давления над целиками без разрушения пород кровли, расположенных над междукамерными целиками.

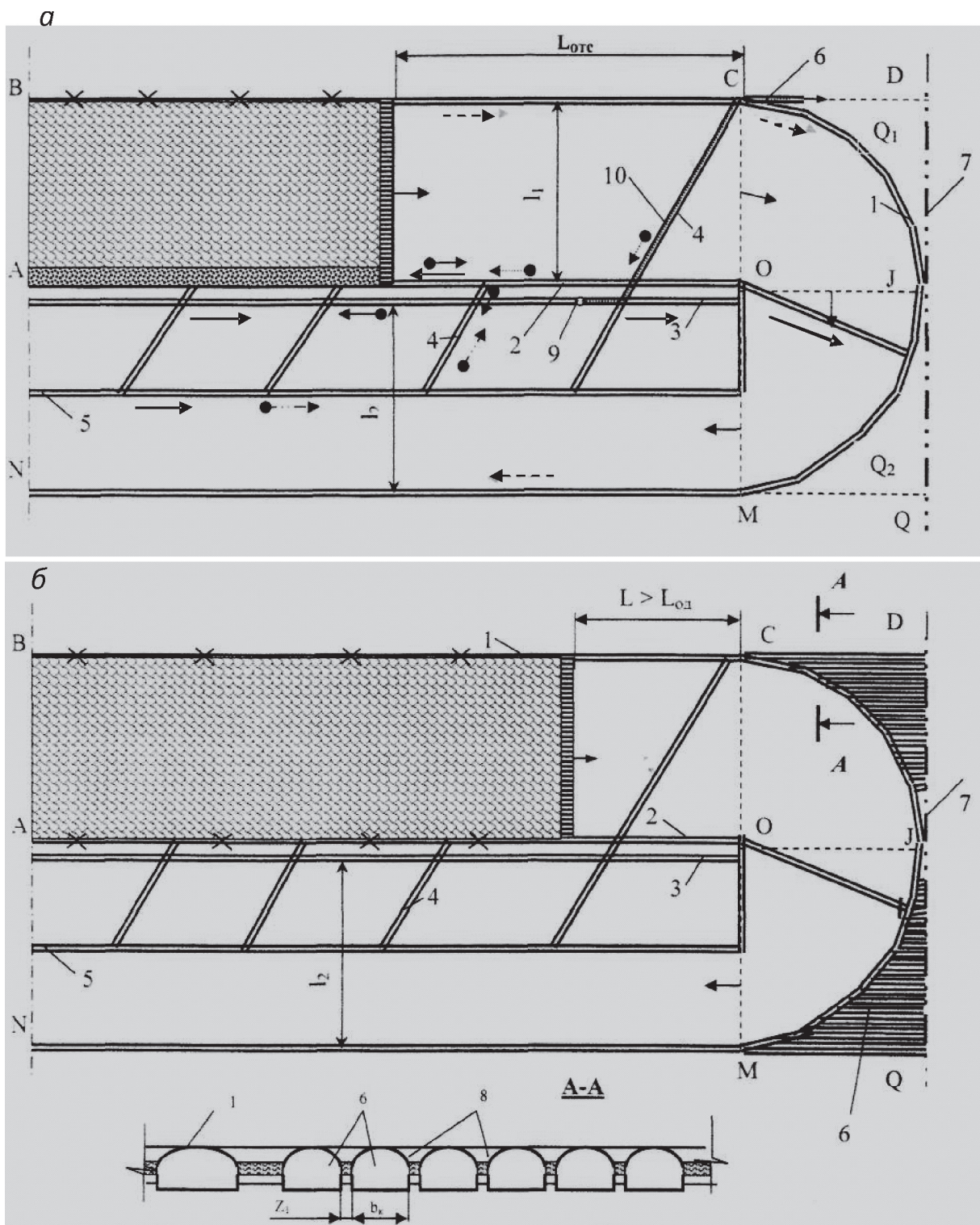


Рис. 4. Технологическая схема с разворотом лавы (вариант № 3), рекомендуемая при обработке IV сальвинитового слоя:

- 1 — обводной штрек; 2 — конвейерный штрек лавы, обрабатывающей столб до разворота; 3 — панельный конвейерный штрек; 4, 4' — технологические сбойки; 5 — панельный вентиляционный штрек; 6 — камеры; 7 — граница панели; 8 — междуканальные целики; 9 — вентилятор местного проветривания; 10 — трубопровод;
 l_2 — длина лавы после разворота; ●► — сальвинит; ●► — галит; ●► — доставка людей;
 Z_1 — ширина междуканального целика; b_k — ширина камеры

Это позволит повысить эффективность управления кровлей в лаве на ее участке, прилегающем к обводной выработке I , а также улучшить условия поддержания обводной выработки на криволинейном участке.

Схема транспорта из лавы в период до разворота лавы (рис. 4, *a*): лава – (2–4–3) – выработки главного направления – околоствольный двор.

Схема транспорта из лавы в период разворота лавы: лава – (4'–3) – выработки главного направления – околоствольный двор.

Схема транспорта из лавы в период после разворота лавы: лава – 3 – выработки главного направления – околоствольный двор.

Проветривание лавы в период работы до разворота (рис. 4, *a*): главный транспортный штрек – (3–4–2) – лава – I – главный вентиляционный штрек. Проветривание лавы в период разворота: главный транспортный штрек – (3–4) – лава – I – главный вентиляционный штрек. Проветривание лавы в период работы после разворота: главный транспортный штрек – 3 – лава – I – главный вентиляционный штрек.

Этот вариант технологической схемы по сравнению с применяемыми, позволяет:

1) сократить потери полезного ископаемого в целике, оставляемом между участками, которые отработаны до и после разворота лавы, на 5–7 %. Кроме того, по сравнению с рекомендуемыми вариантами № 1 и № 2, сокращаются на 50 % и более потери в угловых участках;

2) уменьшить объем горно-проходческих работ. Кроме того, улучшаются условия поддержания обводного штрека I на криволинейном участке за счет разгрузки массива полезного ископаемого от горного давления. Это позволяет по сравнению с применяемыми вариантами отказаться от проходки разгружающего штрека, за счет которого в настоящее время достигается разгрузка от горного давления массива, прилегающего к обводной выработке.

Литература

1. Зубов, В.П. Метод оценки параметров областей с повышенной нарушенностью пород кровли над краевыми частями угольного массива / В.П. Зубов, Г.И. Козовой, А.Б. Соколов // Горное оборудование, переработка минерального сырья, новые технологии, экология: сб. докладов III Международной конф. — СПГИ(ТУ), 1998. — С. 44–50.
2. Чельцова, Н.М. Опыт охраны выемочных штреков в условиях труднообрушаемых кровель / Н.М. Чельцова // Уголь. — 1987. — № 2. — С. 18–20.
3. Зубов, В.П. Способ подземной разработки пластов на участках с ограниченными размерами: пат. РФ, МПК 7 E21C41/20 / В.П. Зубов, Д.В. Уразов. — № 2282720; заявл. 18.04.2005; опублик. 15.09.2006. — Бюл. № 9.
4. Способ разработки мощных пологих пластов / Ю.Г. Сиренко [и др.]. — № 2254472; заявл. 20.04.2004; опублик. 20.06.2005. — Бюл. № 17.

Повышение устойчивости кровли улучшает условия поддержания обводной выработки I и концевой участка лавы, прилегающего к этой выработке.

Рассматриваемый вариант может применяться в сочетании с вариантами № 1 и № 2, т. к. не требует их значительных изменений и обладает теми же положительными качествами.

К числу основных параметров технологической схемы по варианту № 3 относятся ширина зоны опорного давления $L_{од}$, формирующегося впереди лавы, предельные величины опускания пород кровли над целиком и деформации упругого восстановления пород кровли, залегающих над целиком при их полной разгрузке от горного давления.

Выводы

1. Предлагаемая технологическая схема (варианты 1–3) рекомендуется к использованию на участках шахтных полей, размеры которых не превышают 80 % оптимальной длины столба. Реализация схемы в условиях действующих калийных рудников РУП «ПО «Беларуськалий»» позволит уменьшить эксплуатационные потери полезного ископаемого на 40–80 %, удельную протяженность подготовительных выработок в 1,4–2,0 раза, затраты на поддержание повторно используемых выработок на 60–70 %.

2. При использовании варианта № 2 технологической схемы ширину целика можно существенно уменьшить в случае возведения в непосредственной близости от него породной полосы шириной, превышающей в 3–4 раза вынимаемые мощности пласта. Наименьшее допустимое значение ширины целика и прорезной полосы при отработке IV сильвинитового слоя составляет соответственно 2,6–5,0 м и 4,8–6,0 м для глубин разработки 500–1000 м.

ГЕЛИОУСТАНОВКА «ЛУЧ»

Северянин В.С.

1. Назначение: улавливание и концентрация солнечных лучей на сферическом фокусе, передача образующейся в фокусе теплоты теплоносителю (воде), сбор нагретого теплоносителя в баке-аккумуляторе для последующей раздачи потребителям.

2. Конструкция: состоит из 4 основных частей:

2.1. Оптическая система (комплекс конусов-зеркал на специальном каркасе — гелиоконцентратор).

2.2. Система слежения за Солнцем (механизмы поворота и подъема оптической системы, электрический привод-электромагнит, управляющая электрическая схема).

2.3. Теплоприемник (сферический солнечный водонагреватель, система трубопроводов, бак аккумулятор, регуляторы и переключатели, вентили).

2.4. Гелиоустановка монтируется на металлическом основании (плита, швеллеры, подшипники, электроразводка), которое устанавливается по согласованию с Заказчиком (на крыше, во дворе, на холме).

3. Особенности: отличается от известных солнечных установок следующим.

3.1. Теплоприемник неподвижен, оптическая система обходит его, что упрощает коммуникации по теплоносителю.

3.2. Движение оптической системы учитывает не только суточное, но и сезонное изменение положения Солнца. Принцип реализуется при помощи простых механических копиров.

3.3. Зеркальная часть гелиоконцентратора представляет собой группу узких, отделенных друг от друга концентрических конусов, что:

1) снижает ветровую нагрузку, т. к. поток воздуха проходит сквозь щели между конусами;

2) упрощает изготовление и сборку зеркал, т. к. поверхности конусов имеют I степень кривизны; аналогичное же параболические поверхности существенно сложнее.

3.4. В данной установке используются относительно дешевые материалы и изделия (хромированный алюминий — строительный материал — для изготовления оптических зеркальных конусов; электромагнит; основные узлы конструкции установки изготавливаются из обычной малоуглеродистой стали).

4. Новизна — гелиоустановка защищена патентами Республики Беларусь N2 3998, 4296, 4311. Патентообладатель — Брестский государственный технический университет (БрГТУ).

5. Ожидаемые технико-экономические показатели гелиоустановки следующим.

5.1. Тепловая мощность составляет около 3–4 кВт.

Она определяется общей площадью оптических зеркальных конусов, расположенных в проекции, нормальной к солнечным лучам, и степенью их инсоляции — освещенности.

5.2. 1 т воды нагревается за средний солнечный день на 50–80 °С.

5.3. Электропривод потребляет электроэнергии примерно 0,1 кВт·ч в месяц (электромагнит включается всего на 0,5 с через каждые 10 мин круглосуточно).

6. Габариты установки:

– высота 3000–5000 мм;

– наружный диаметр оптической системы — 2500 мм;

– площадь основания 3500×3500 мм;

– масса 500–600 кг.

7. Стоимость установки: ~15 млн. рублей.

8. Области применения гелиоустановки:

– системы отопления и горячего водоснабжения небольших по мощности потребителей (коттеджи, сельские дома, теплицы, помещения цехов, складов, столовые, бани) как дублер топливоиспользующих систем;

- системы хладоснабжения;
- системы освещения.

9. Завод-изготовитель (держатель техдокументации): Брестский радиотехнический завод. Адрес: ул. Московская, 248, г. Брест, 224023 Республика Беларусь.

10. Гелиоустановка обязательной сертификации не подлежит.



УДК 621.926

ДРОБИЛКИ УДАРНОГО ДЕЙСТВИЯ С ВЕРТИКАЛЬНЫМ РОТОРОМ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Сиваченко Л.А., Кутынка Е.И.

ГУВПО Белорусско-Российский университет

Могилевский Государственный университет продовольствия

Белгородский Государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

Дробилки ударного действия с вертикальным ротором и многозвенными ударными элементами, созданные как машины для селективного измельчения, проявили себя в различных областях перерабатывающей промышленности [1–3].

Одной из самых простых конструкций многозвенных дробилок ударного действия с вертикальным расположением ротора на сегодняшнее время является двухопорная одноприводная дробилка, представленная на рис. 1.

Дробилка состоит из следующих основных узлов: корпус, ротор с рабочими элементами и механизм привода. Рабочие элементы представляют собой по ярусно установленные на вертикальном роторе многозвенные ударные элементы. Для большинства конструкций число звеньев принято равным 3.

Работает дробилка следующим образом: материал поступает в приемную воронку и далее под действием силы тяжести, попадает на первый

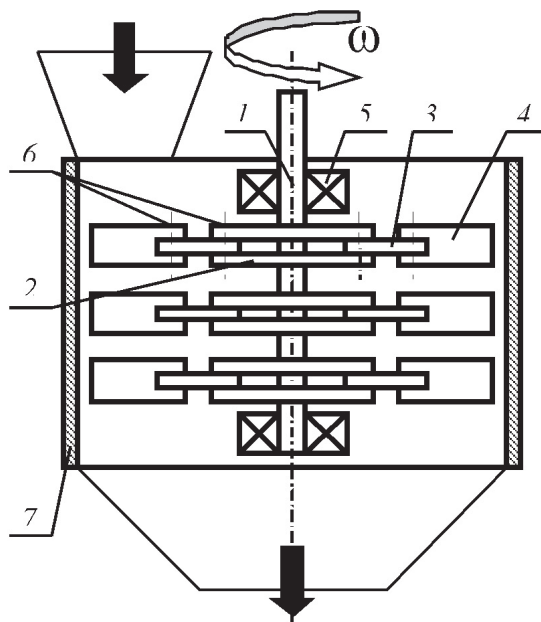
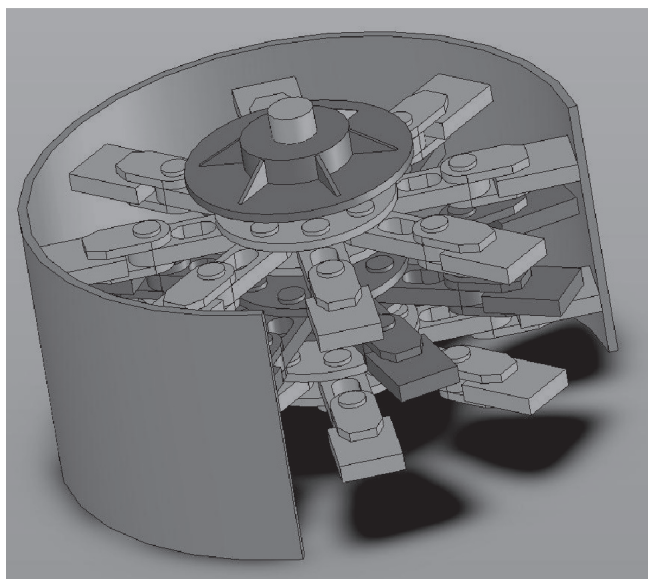


Рис. 1. Принципиальная конструкция молотковой дробилки с вертикальным ротором: 1 — вал; 2 — диск; 3 — серьга; 4 — било; 5 — подшипниковая опора; 6 — подвижные шарниры (пальцы); 7 — корпус

ярус рабочих элементов, где происходит его измельчение. Вследствие вращения ротора на частицы материала действует центробежная сила, прижимающая его к стенке рабочей камеры. Материал закручивается вдоль корпуса и попадает в зону действия следующего ряда рабочих элементов. Аналогичные процессы происходят и на остальных ярусах. Готовый продукт выгружается через выгрузочный лоток.

Благодаря многочисленным исследованиям [4, 5], эти дробилки усовершенствовались и сейчас способны не только производить мелкое и селективное измельчение с получением готового продукта заданного фракционного состава, но и добиваться помола аналогично стержневой мельнице, а также решать целый ряд особых задач современных производств, например, производить качественное смешивание, механоактивировать исходные компоненты, разделять материал по крупности и т. д. [1]. Правильное включение дробилок в технологические линии многих производств способствует улучшению многих параметров. Это обусловлено рядом преимуществ таких машин:

- по показателям энергоёмкости и металлоёмкости дробилки ударного действия с вертикальным ротором превосходят все традиционные конструкции;

- имея при достаточно большой производительности малые габариты, эти дробилки могут использоваться в схемах с вертикальным движением материала, что значительно снижает энергетические затраты на его повторной подъем и транспортные операции;

- широкий ряд типоразмеров дробилки и широкий спектр комплектуемого рабочего оборудования позволяют дробилкам перерабатывать материалы различной крупности, твердости, абразивности, влажности;

- дробилки ударного действия с вертикальным ротором могут производить целенаправленную обработку материала и получать определенный гранулометрический состав в зависимости от назначения;

- в технологических схемах с использованием шаровых или стержневых мельниц установка дробилок ударного действия вместе с грохотами позволяет не только значительно снизить суммарную энергоёмкость процесса, но и увеличить производительность комплекса в целом.

На рис. 2 изображена принципиальная схема усовершенствованной дробилки ударного действия с вертикальным ротором и одноопорным валом. Основные типы рабочих органов дробилки приведены в табл. 1.

Промышленные образцы дробилок ударного действия приведены в табл. 2.

Обобщенные технические характеристики базовых моделей дробилок ударного действия приведены в табл. 3. В обозначениях цифры соответствуют диаметрам камер дробления [4].

Измельчению на этих дробилках подвергался широкий спектр материалов: гранит, известняк, доломит, торф, зерна различных культур, клинкер, гравий, мрамор, уголь, руды цветных металлов, цеолиты различных видов, передельные продукты металлургии, стеклобой, сырьевые

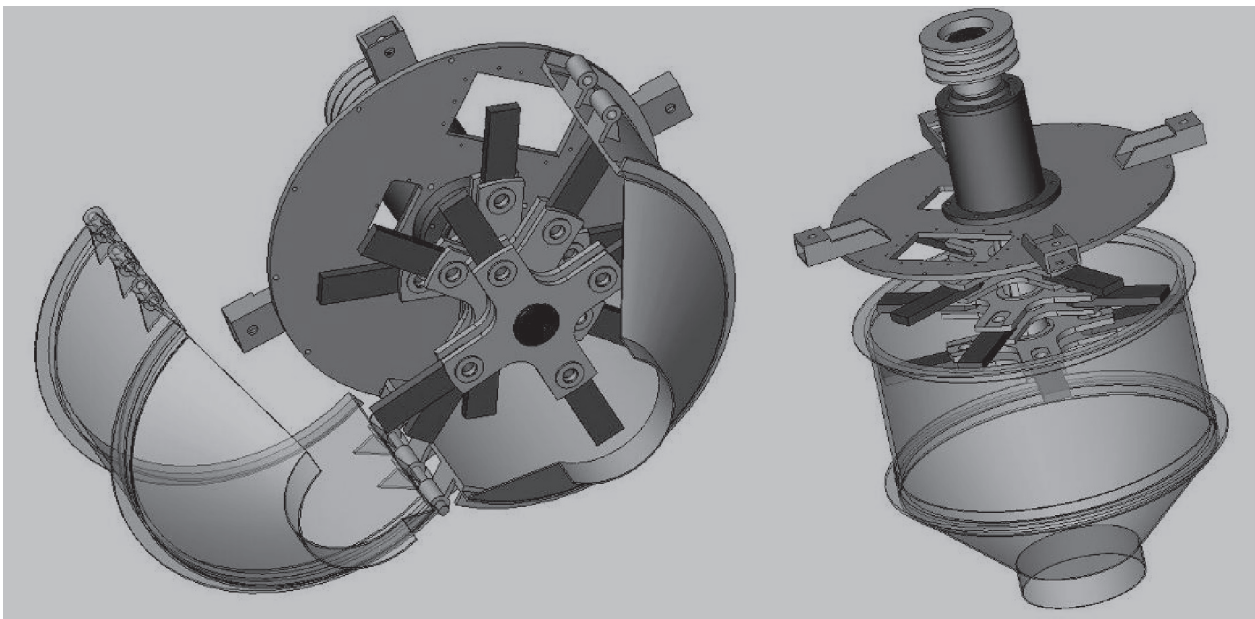


Рис. 2. Дробилка ударного действия с вертикальным ротором и одноопорным валом

Таблица 1

Основные типы рабочих органов дробилок

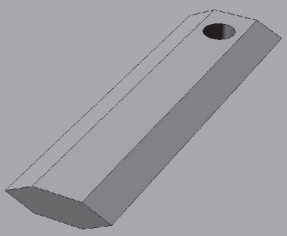
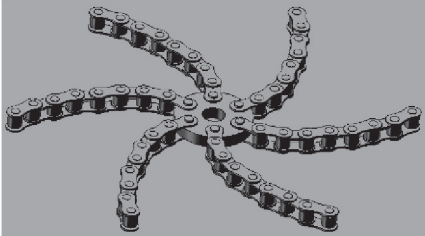
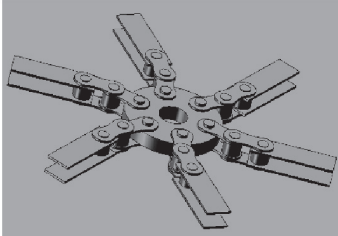
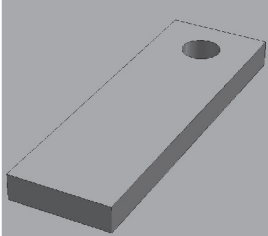
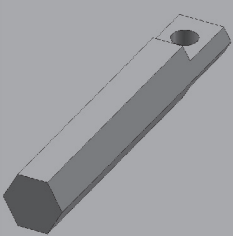
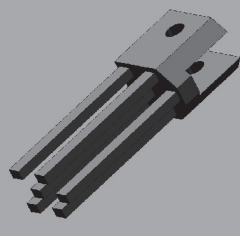
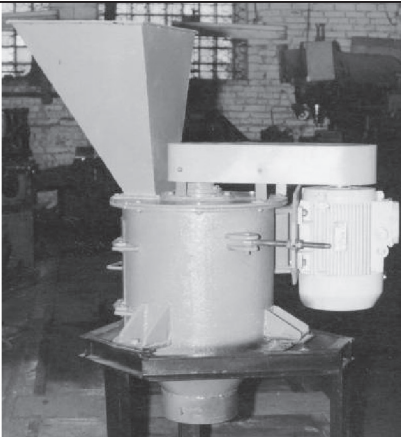
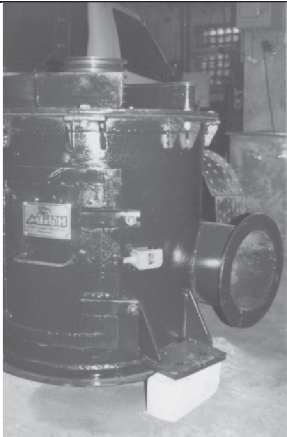
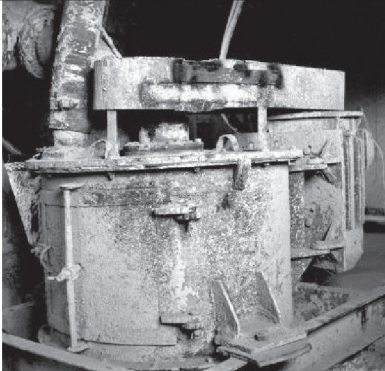
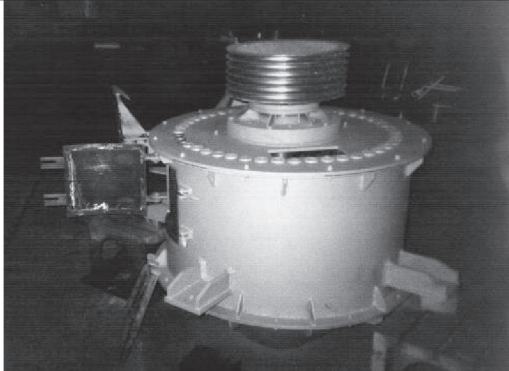
		
ножевые била	цепь	сдвоенное било
		
прямоугольное било	стержневое било	Многopальцевое било

Таблица 2

Образцы дробилок различных типоразмерных рядов

	
ДУ-400	ДУ-700
	
ДУ-900	ДУ-1000

Продолжение таблицы 2



Таблица 3

Обобщенные технические характеристики дробилок

№	Показатель	Типоразмер					
		Д-400*	ДУ-750*	ДУ-900*	ДУ-1000*	ДУ-1200*	ДУ-1500*
1	Диаметр рабочей камеры, мм	400	750	900	1000	1200	1500
2	Производительность, т/ч	1–5	5–20	10–50	20–100	30–120	50–150
3	Частота вращения ротора, мин ⁻¹		555		750–1470		
4	Число ярусов бил	2–10	2–10	2–10	2–10	2–10	2–10
5	Число бил на ярусе	2–6	2–6	4–8	4–8	4–8	6–12
6	Линейная скорость ударных элементов, м/с	25–70					
7	Максимальная крупность загружаемого материала, мм	20	50	50	60	80	100
8	Крупно частей готового продукта	ТУ заказчика					
9	Установленная мощность электродвигателя, кВт	7,5–10	18	55–90	30–55	110–200	150–280
10	Габариты Д×Ш×В, мм	1000× 600× 1600	1323× 1115× 2037	1700× 1300× 2000	2800× 1400× 2850	1700× 1800× 2500	1900× 2000× 3200
11	Масса, т	0,18–0,25	0,4–0,6	0,5–0,9	0,6–1,0	1,8–2,5	2,9–4,0

* Приведенный диапазон значений параметров дробилок учитывает свойства измельчаемого материалов и требования к их переработке. Эти параметры уточняются для каждого вида измельчаемого материала и условий его переработки.

компоненты и смеси производства строительных материалов, отходы абразивного производства, кварцевый песок, трава, шлаки, промышленные и бытовые отходы и т. д. При этом крупность кусков исходного материала составляла 5–100 мм,

влажность 0–80 %, твердость по шкале Мооса — 1–8 единиц, прочность на сжатие — 5–200 МПа.

Вертикальные дробилки ударного действия могут использоваться как по прямому своему назначению — чистое дробление, так и в совмещении

некоторых технологических операций, например дробления с сушкой или смешиванием. Совмещение дробления с сопутствующими технологическими операциями позволяет существенно сократить занимаемые производственные площади, суммарную металлоемкость технологического оборудования и общие издержки производства.

Главный резерв повышения эффективности дробилок заключается в качественном изготовлении их основных элементов и рациональном выборе геометрических, кинематических и технологических параметров и режимов работы.

Отдельно заслуживает внимание быть отмеченной гидродинамика двухфазных потоков в рабочей зоне. Важнейшим звеном дробилок является привод и от его использования в значительной мере зависит эффективность аппарата в целом.

Оптимизация рабочего процесса дробилки ударного действия связана с необходимостью управления движением материала в зонах разрушения. Для этого необходимо, чтобы скорости соударения ударных элементов и кусков измельчаемого материала были максимальны. Это достигается путем установки на корпусе отбойников, отражательных дисков на роторе, выполнения дробилок двухроторными с соосными или параллельными осями и т. д.

При работе с влажными материалами следует стремиться к выполнению рабочих зон с минимальным количеством переходов и изменением сечений. Для этого целесообразно отказаться от одной из опор, обеспечив свободную выгрузку материала, а била можно выполнить с функциями скребков. Хороший эффект в переработке влажного сырья дает продув рабочей камеры горячими газами, обогрев корпуса.

Рационализации конструкции дробилки способствует правильным выбором привода. Для этого

рекомендуется использовать график применения различных приводов. Для многих применений дробилок можно кардинально усовершенствовать путем выполнения ротора в виде обратимой электрической машины, в которой статор вращается относительно неподвижной оси — ротора и на него наружной поверхности установлена большая система. Такое решение является технически очень сложным, но при его реализации будет создан типоразмерный ряд дробилок не имеющий мировых аналогов.

Износостойкость ударных элементов, определяющую общий уровень надежности дробилок, можно повысить путем сталей, отбеленного чугуна и других материалов. Хорошие результаты достигнуты при вваривании в торцы бил пластинок из твердого сплава. Так, на Белгородском комбинате строительных материалов при переработке пластинок марки Т15К6 позволило довести ресурс работы бил до двух недель при двухсменном режиме работы. При этом аппарат, оснащенный 3-ярусным ротором с 6 билами на каждом ярусе, с линейной скоростью бил 55 м/с до их замены нарабатывал около 15 000 т смеси.

Анализ развития дробилок ударного действия с вертикальным ротором позволяет прогнозировать их широкое промышленное использование в режиме тонкого и сверхтонкого дробления, грубого помола, селективного измельчения, качественного смешивания, механоактивации, предварительной подсушки и совмещения в одном цикле ряда перечисленных операций. Они способны работать на материалах малой и средней прочности твердостью до 6–7 единиц по шкале Мооса при крупности питания до 100 мм и повышенной влажности в сравнении с аппаратами аналогичного назначения с производительностью 0,5–250,0 т/ч.

Литература

1. Технологические аппараты адаптивного действия / Л.А. Сиваченко [и др.]. — Минск: БГУ, 2008. — С. 375.
2. Сиваченко, Л.А. Анализ работы роторных дробилок ударного действия с вертикальным ротором / Л.А. Сиваченко, Е.И. Кутынка, А.Н. Хустенко // Механика — XXI веку: Сб. материалов V Межрегиональной научно-технической конференции с международным участием. — 2006. — С. 115–120.
3. Кутынка, Е.И. Интенсификация работы дробилок ударного действия путем повышения надежности базовых элементов конструкций: дис. магистр. техн. наук: 05.05.04. защищена 15.09.06: утв. 17.09.06 / Е.И. Кутынка. — Могилев, 2006. — 84 с.: ил.
4. Сиваченко, Л.А. К расчету основных параметров вертикальных дробилок ударного действия / Л.А. Сиваченко, Е.И. Кутынка // Вестник БГТУ: Науч.-теор. журнал, — 2005. — № 11. — С. 217–222.
5. Кутынка, Е.И. Технологические возможности дробилок ударного действия с вертикальным ротором / Е.И. Кутынка, Л.А. Сиваченко // Материалы межвузовского сборника статей, БГТУ им В.Г. Шухова. — Белгород, 2008. — С. 83–88.

УДК 621.926

ДЕЗИНТЕГРАТОРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ИХ ТЕХНИЧЕСКАЯ ОБЕСПЕЧЕННОСТЬ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ

¹Сиваченко Л.А., ¹Титов Д.В., ²Сиваченко Т.Л.

¹ГУВПО Белорусско-Российский университет

²Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

Промышленное производство нашей страны характеризуется большой долей затрат на переработку различных материалов: строительного сырья, удобрений, пищевых продуктов, твердого топлива, химических реагентов, множества наполнителей и добавок, всевозможных отходов и т. д. Центральными операциями их переработки являются измельчение, классификация, смешивание, транспортирование, уплотнение, гранулирование, сушка, обжиг, автоклавная обработка, вакуумирование и т. д.

Из множества технологических пределов остановимся на тех, основу которых составляет процесс измельчения. Их вполне приемлемо называть дезинтеграторными [1, 2] и на такой основе дать комплексную оценку их технологической эффективности и технического уровня. Можно с уверенностью утверждать, что в такой постановке и с такой полнотой охвата эта проблема ранее в Беларуси не рассматривалась.

Анализ дезинтеграционных технологий целесообразно делать по следующей схеме: объемы производства, затраты на проведение, совершенство технологии, уровень оборудования, перспективы развития, стоимость перевооружения, научный и проектный потенциал, машиностроительная база. С учетом уровня нашего машиностроения и последних событий в мире ставку следует делать, прежде всего, на собственный научно-технический потенциал.

Объем переработки. При значительной доле в нашем народном хозяйстве машиностроения, транспорта, приборостроения и сельского хозяйства объемы дезинтеграторных пределов очень велики и по нашим оценкам составляют примерно

100 млн. т в год, т. е. средняя душевая переработка составляет до 10 т. О достоверности этих цифр можно судить по объемам переработки важнейших продуктов, млн. т:

- производство калийных удобрений — 40,0;
- цементное сырье, в т. ч. клинкер — 8,0–9,0;
- щебень гранитный и других видов — 12,0–13,0;
- доломит — 2,5–3,0;
- зерно и зернобобовые — 8,0;
- силикатное производство — 3,5–4,0;
- известь — 2,0;
- твердые бытовые отходы — 3,0;
- торф фризёрный — 2,5;
- различные промышленные отходы — 2,5–3,0;
- керамическое сырье — 2,0–2,5;
- целлюлоза и бумажная масса — 2,0.

Итого примерно 88,0–92,0 млн. т в год.

О том, что это далеко не полный перечень перерабатываемых материалов можно судить по тому, что в него не включены металлургические и литейные шлаки, мясопродукты, сухие строительные смеси, лакокрасочные, звуко- и теплоизоляционные материалы, древесина, химические продукты, широкий спектр отходов, продукты фармацевтики, кондитерские изделия, порошковая металлургия, дорожное строительство и т. д.

Вышесказанное следует дополнить тем, что в ближайшие годы дезинтеграторные пределы будут увеличены за счет строительства новых цементных и силикатных заводов, освоения разработки месторождений железной руды, трепела, природного гипса, а также расширения объемов производства на действующих предприятиях.

Важно отметить, что значительная часть из перечисленных материалов подвергается неоднократной

переработке, например керамика, цемент, известь, зерно, пищевые продукты, калийная руда и др. Подобная стадильность увеличивает не только фронт работ, но и номенклатуру оборудования, производственные площади, складское хозяйство, системы транспорта, контроля и управления, инженерные коммуникации. Совершенно недостаточно у нас решены проблемы переработки негабаритов в карьерах, сmerzшихся глыб, цементированных преобразований.

Затраты на проведение дезинтеграторных технологий. Достаточно грубая их оценка позволяет остановиться на цифре 2 млрд. кВт·ч электроэнергии. Во-первых, это соответствует экспертным оценкам многих исследователей [1, 3], которые принимают для очень многих стран суммарный расход электроэнергии на цели измельчения 5 % от ее общего потребления. Для Беларуси это также корректно. У нас потребление электроэнергии 38 млрд. кВт·ч. Уместно также сослаться на цифры 10 %, приводимые российскими авторами [1]. Во-вторых, по данным наших предприятий расходы кВт·ч/т для наиболее многотоннажных производств составляют: цемент — 30,0–45,0; вяжущая часть силикатных материалов — 21,0–22,0; керамика — 32,0–36,0; известь — 26,0–30,0; зерно — 80,0–100,0; комбикорм — 15,0 и т. д. Включение в эти издержки затрат на сопутствующие процессы, как-то смешивание, уплотнение, обезвоживание или увлажнение, гранулирование, классификация, изменение реометрической структуры и др. только увеличивает энергопотребление, причем в ряде случаев очень значительно. Таким образом, предлагается итоговая цифра энергозатрат — 2 млрд. кВт·ч.

Мы сознательно исключаем из рассмотрения на данном этапе тепловые составляющие процесса (пар, горячая вода, газ, мазут, горячий воздух). Этот вопрос должны решать специалисты теплотехнических дисциплин, хотя он и накладывается на механические процессы дезинтеграторных технологий.

Совершенство технологий. Этот пункт можно выделить только как весьма актуальный, но его оценка количественно лежит за пределами наших компетенций из-за чрезвычайного многообразия существующих технологий. В среднем по всей промышленности возможно на ближайшее 5–10 лет предположить сокращение издержек на 20–30 %, хотя по отдельным технологиям речь может идти о гораздо более значительном повышении эффективности, а потенциально — в разы. Собственно технологии в технологическом процессе чрезвычайно консервативны и их развитие связано с серьезными финансовыми вложениями.

Уровень оборудования. Как это не покажется странным, но именно в дезинтеграторных технологиях аппараты образуют становой хребет подавляющего большинства производств. Технолог, проектировщик и, тем более, менеджер лишены возможности выбора оптимального оборудования. Есть то, что есть. Хроническое отставание аппаратуростроения связано с низким уровнем знаний в области механики разрушения твердых тел, а также неучета даже основ технологического опыта.

В составе технологического оборудования лидерами самого расточительного использования энергии являются шаровые мельницы. Эти машины за 150 лет своего существования практически не изменились, а их КПД не превышает 1 % [1]. Не на много превосходят их уровень и другие аппараты, задействованные в дезинтеграторных технологиях, дробилки, мельницы, смесители, механоактиваторы и др. Очень слабо, а во многих случаях и вовсе не используется потенциал совмещения нескольких функций в одном аппарате — вариативность. Принцип действия технологических машин не учитывает физические и физико-химические эффекты, сопровождающие процессы переработки веществ, например эффекты Ребиндери, Иоффе, виброреологии и др. Это непомерно раздвигает технологические цепи транспорта, промежуточных бункеров, дозаторов, питателей, систем контроля и управления, инженерных сетей и т. д. Как результат, это колоссальные и, по существу, неоправданные капитальные и эксплуатационные издержки. В итоге можно констатировать: технологическое машиностроение выпускает самую несовершенную в мире продукцию.

Перспективы развития. Точную оценку перспектив перевооружения дезинтеграторных технологий дать очень сложно. В данный момент важнейшей задачей будет определить реальную величину эффективности по тем или иным показателям.

Энергопотребление директивно следует уменьшать не меньше, чем в 2 раза. В итоге можно говорить о величине общей экономии электроэнергии в республике — 1 млрд. кВт·ч. Достигнуть такого результата можно только при коренном перевооружении крупных производств, например цементных заводов, РУП «Белкалий», РУП «Доломит» и др.

Несомненный эффект принесет и снижение расхода мелющих тел. По нашим оценкам их расход уменьшится на 12–15 тыс. т, что при стоимости 1 т 800 дол. США даст экономию не менее 10 млн. дол. США.

Дополнительно к этому будет обеспечено значительное снижение капитальных затрат на новое строительство или перевооружение, снижение эксплуатационных издержек всех видов, улучшение качества получаемых продуктов, ресурсосбережение и т. д.

Сейчас время отдельных агрегатов ушло в историю. Необходимо создавать эффективные технологические комплексы, соответствующие самым высоким мировым требованиям. В рассматриваемом сегменте оборудования мы находимся на хорошем уровне неучтенный потенциал здесь [1, 3] таков, что при правильной его реализации можно завоевать лидерство в мире, что позволит оздоровить свои производства и организовать широкомасштабный экспорт принципиально новой продукции.

Стоимость перевооружения. В первом приближении можно принять, что стоимость перевооружения не превысит затрат традиционных вариантов при совокупном включении в ее состав также затрат на НИОКР, проектирование, испытание, поставку, монтаж и ввод в эксплуатацию. Сэкономить здесь возможно на стоимости новых образцов оборудования и компоновочных решениях новых комплексов.

Научный и проектный потенциал. По этой позиции ситуация самая сложная. Главная проблема здесь состоит не в отсутствии специалистов, а в их корпоративной разрозненности и разобщенности. Кадры есть и их следует объединить и подготовить к решению поставленных задач.

Общую оценку поставленной проблемы в данный момент могут дать доктора наук Груданов В.Я., Иванов А.В., Левданский Э.И., Левданский А.Э., Сиваченко Л.А.

Машиностроительная база. По данному пункту ситуация наиболее благоприятная, что связано с хорошей машиностроительной базой в Беларуси. Здесь необходимо определить головное предприятия и организовать его работу по выпуску новой продукции. Другое дело, что через некоторое время после начала работы его функции будут расширены за счет проектирования дополнительного оборудования, систем управления, технологических исследований, наработки опытных партий продуктов, монтажа оборудования у потребителя, сервисного обслуживания и т. д. В мире уже накоплен достаточный опыт подобного рода, и его целесообразно использовать у нас.

Проблема комплексной переработки сырья и материалов в нашей стране стоит очень остро, и ее необходимо решать. Ее представлению широкой общественности и служит настоящая статья.

Выводы. Представленная выше информация со всей очевидностью позволяет без лишних комментариев утверждать: общее состояние дезинтеграторных технологий в Беларуси неблагоприятно по всем основным составляющим: оборудованию, технологиям, технологическим комплексам, кадровому составу, инвестициям, научным исследованиям и т. д.

Предложение. С целью обоснования путей кардинального решения поставленной проблемы необходимо создание Республиканской научно-технической программы «Дезинтеграторные технологии». Куратором программы может быть Министерство архитектуры и строительства как имеющее наибольшее применение на своих предприятиях дезинтеграторных переделов и реализация которых позволит получить наибольший эффект.

Литература

1. Селективное разрушение минералов / В.И. Ревнивцев [и др.]; под ред. В.И. Ревнивцева. — М.: Недра, 1988. — 286 с.
2. Дуда, В. Цемент / В. Дуда. — М.: Стройиздат. — 1981. — 464 с.
3. Технологические аппараты адаптивного действия / Л.А. Сиваченко [и др.]. — Минск: БГУ, 2008. — 375 с.
4. Сиваченко, Л.А. Решение проблем измельчения и дезинтеграторных технологий / Л.А. Сиваченко // Строительные и дорожные машины. — 2005. — № 11. — С. 31–34.
5. Сиваченко, Л.А. Технологическая концепция современной промышленной революции / Л.А. Сиваченко // Вестник БГТУ: науч.-теор. журнал. — Белгород, 2007. — № 1. — С. 94–102.

ШУНГИТОВЫЙ МИНЕРАЛ И ОБЛАСТИ ЕГО ПРИМЕНЕНИЯ

¹Волочко А.Т., ²Лыньков Л.М. ²Криштопова Е.А.

¹ГНУ «ФТИ НАН Беларуси», ²БГУИР

Шунгитовый минерал был открыт более двух веков назад, в 1878 г., и назван в честь поселка Шуньга на берегу Онежского озера в Карелии. Его можно отнести к природным композитам, имеющим углеродную и силикатную составляющие. Этот минерал в последнее время привлекает внимание ученых всего мира.

Порода (рис. 1) состоит из глобулярного графитоподобного углерода, с вкрапленными частицами оксида кремния (преимущественно кварца)

размером около 1 мкм, таким образом, что они образуют практически одно вещество. Остальные компоненты минерала — оксиды металлов, вода в кристаллическом состоянии и битумная органика (табл. 1) [1].

По мнению исследователей [2] в большинстве случаев элементарным фрагментом структуры шунгитового углерода является глобула с размерами порядка 100 Å. Элементы структуры могут быть окружены случайной сеткой атомов углерода и

Таблица 1

Химический состав шунгита

SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	S	C	H ₂ O _{крист}
57,0	0,2	4,0	2,5	1,2	0,3	0,2	1,5	1,2	29,0	4,2

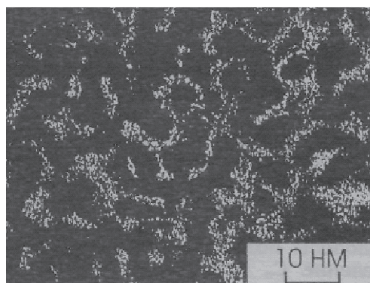
атомами примесей, они могут быть ориентированы как случайным образом, так и собираться в пачки, волокна, пакеты, слои, т.е. упорядочены настолько, что может проявляться анизотропия физических свойств. В углеродных глобулах распределены вода, микроэлементы, дифильная битумоидная органика, фуллерены в форме C₆₀ и C₇₀ и нанотрубки (рис. 2).

Наиболее важной и интересной особенностью шунгита является наличие в минерале фуллеренов, недавно открытой формы углерода, крайне редко встречающейся в природе нашей планеты и в основном получаемой искусственно по дорогостоящей технологии [3].

Свободный углерод наиболее часто встречается в виде двух простых веществ — алмаза и

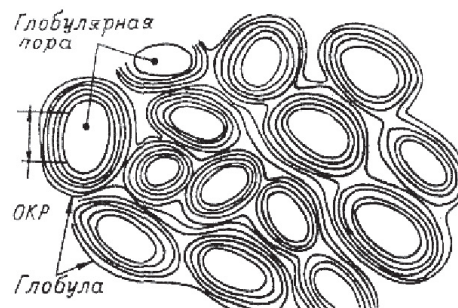


Рис. 1. Внешний вид шунгитового минерала



а

Рис. 2. Электронно-микроскопический снимок шунгитового углерода на просвет (а) и соответствующая ему модель глобулярного строения (б) [2]



б

графита. Алмаз прозрачен, имеет плотность 3,5 г/см³ и является самым твердым из минералов, не проводящим электрический ток и обладающим незначительной электропроводностью. Каждый атом углерода в алмазе соединен с четырьмя другими, причем расстояния между центрами атомов одинаково и равно 1,54 Å и они образуют правильный тетраэдр (рис. 3, а).

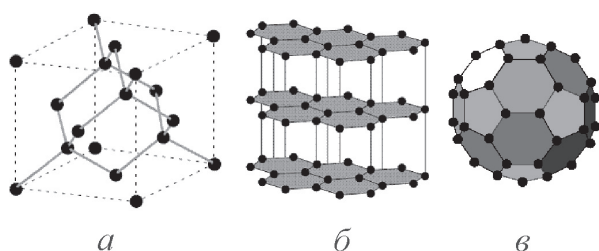


Рис. 3. Схема расположения атомов углерода: в алмазе (а), графите (б) и фуллерена C₆₀, обнаруженного в шунгите (в) [3]

Графит представляет собой серую, непрозрачную и жирную на ощупь массу с плотностью 2,2 г/см³. В графите каждый атом углерода соединен с четырьмя другими, расстояния от него до трех других приблизительно одинаковы (1,42 Å), однако от четвертого атома он более удален (3,35 Å) (рис. 3, б). В результате связь по последнему направлению гораздо слабее, чем по остальным. Это выражается легкой расслаиваемости графита на отдельные тонкие слои. Связи между атомами углерода одной и той же плоскости в решетке графита имеют ковалентный характер, а между атомами разных плоскостей — металлический, что обуславливает высокую электропроводность графита (электрическое

сопротивление 0,0014·10⁻³ Ом/м) и его хорошую теплопроводность. Именно благодаря способности в присутствии влаги расслаиваться по плоскостям скольжения графит используется как твердая смазка в различных консистенциях при создании композиционных материалов и покрытий. Причем, как было неоднократно установлено аномально низкий коэффициент трения и износ проявляется именно при адсорбировании им влаги [4]. В вакууме материал этих способностей не проявляет. По этой причине все технологии получения антифрикционных изделий должны учитывать возможность сохранения не только химически связанной влаги, но и свободной. Фуллерен представляет собой молекулу сферической формы, состоящую из 60 и более атомов углерода (рис. 3, в). Точное значение радиуса C₆₀, установленное рентгеноструктурным анализом, составляет 0,357 нм. Логично предположить, что вещество, включающее такие молекулы, будет обладать аномальными свойствами. Что касается шунгитовых пород, то к молекулам фуллеренов в шунгитах присоединены органические радикалы, которые позволяют фуллеренам легко образовывать водные растворы, которые сложно получить для искусственных фуллеренов.

Сложный химический состав и структура шунгита, особенности шунгитового углерода дают минералу ряд полезных свойств: высокую механическую прочность, электропроводность, ингибирование процессов коррозии, наличие макро- и мезопор, сорбционные, каталитические и бактерицидные свойства и многие другие (табл. 2), которые находят все более широкое применение во многих сферах человеческой деятельности.

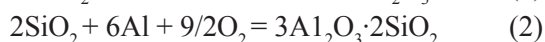
Таблица 2

Основные свойства шунгита

Свойства	Значение
Плотность	2,1–2,4 г/см ³
Пористость	до 5 %;
Прочность на сжатие	1000–1200 кгс/см ²
Механическая прочность: – в сухом составе	1180–2380 кг/см ²
– в водонасыщенном составе	1110–2270 кг/см ²
– после замораживания и оттаивания	720–2250 кг/см ²
Истираемость	0,4–0,6 кг/см ²
Сопротивляемость удару	9,0–47,5 кг/см ²
Водопоглощение	0,01–3,50 %
Развитая внутренняя поверхность	до 20 м ² /г
Электропроводность	1500 см/м
Радиоактивность	79,93 Бк/кг
Морозостойкость	Г–300
Адсорбционная активность: – по фенолу	14 мг/г
– по термолитным смолам	20 мг/г
– по нефтепродуктам	более 40 мг/г

Шунгит при создании новых керамических и композиционных материалов. Основная идея, заложенная при создании огнеупорных керамических материалов и покрытий — использование углерода С и оксида кремния SiO₂, входящих в состав шунгита, а также добавок порошков алюминия Al для дополнительного образования высокотемпературной керамики добиваясь тем самым высоких эксплуатационных свойств (огнеупорность, прочность, термостойкость, шлакоустойчивость и др.)

Конечными продуктами синтеза могут быть корунд, муллит, карбид кремния.



Как известно, карбид кремния повышает коррозионную стойкость керамики. Кроме того, карбидокремниевые огнеупоры имеют высокую электро- и теплопроводность, термостойки к абразивному воздействию. Они не смачиваются расплавами металлов, устойчивы в кислых шлаках.

Использование добавок тонкодисперсного шунгита в количестве до 5–10 мас.% положительным образом сказывается на свойствах алюмосиликатной керамической массы индукционных печей плавки алюминия [4, 5]. при достаточно высокой прочности при сжатии 25–30 МПа, огнеупорности более 1550–1600 °С, теплопроводности 0,35–0,38 Вт/м·К добавки шунгита повышают шлакоустойчивость и технологичность при ремонте таких тепловых агрегатов.

В ФТИ НАН Беларуси имеются наработки по использованию шунгита и в качестве добавок к покрытиям на алюмосиликатные, переклазовые, доломитовые огнеупоры, повышающие срок службы термических печей, электрованн обработки конструкционных и инструментальных сталей (рис. 4), печей хранения и выдачи расплава и др. При прочности адгезии 0,3–1,8 МПа покрытия на связке из силикатов и фосфатов могут повысить срок службы тепловых агрегатов в 1,5–3,0 раза, сократить потери электроэнергии. Шунгит, в отличие от экзотермических смесей с использованием графита и алюминия, имеет более высокую стойкость к растрескиванию.

В ФТИ НАН Беларуси также проводятся исследования по получению алюминиевых композитов для отраслей машиностроения. Это антифрикционные алюминиево-графитовые материалы, дисперсно-упрочненные материалы с оксидной, карбидной, нитридной, боридной и др. керамикой.

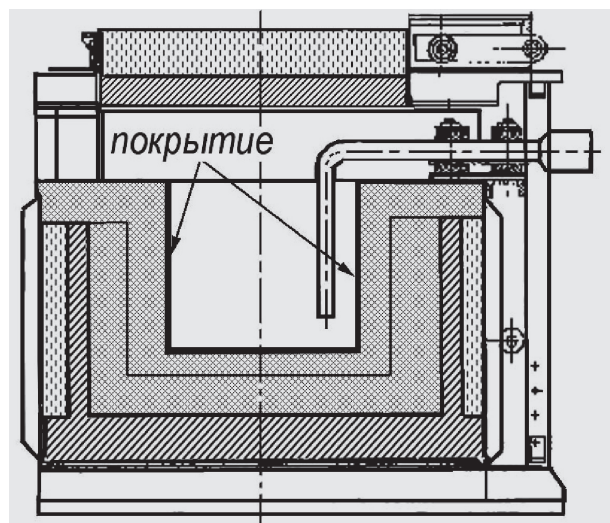
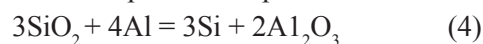


Рис. 4. Схема термической печи с покрытием, содержащим шунгит

Не меньший интерес представляют и композиты, полученные с использованием шунгита.

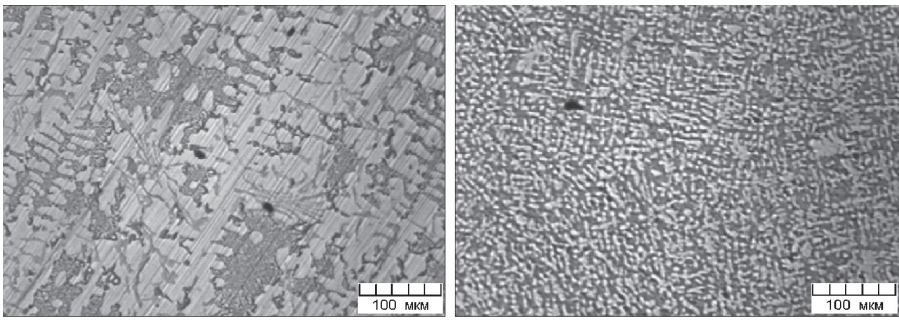
Отличительной особенностью углерода, входящего в состав шунгита, в отличие от графита, является его способность смачиваться алюминиевым расплавом и его высокая реакционная способность. Поэтому представляется технологическая возможность получения изделий из композитов так называемым методом реакционного литья [5], когда непосредственно при различных видах литья образуются новые наноразмерные фазы, позволяющие модифицировать и упрочнять структуру материала. Благодаря дисперсности фаз изделия из таких материалов легко обрабатываются лезвийным инструментом. Так при обработке поршневого алюминиевого сплава АК12М2МгН лигатурой содержащей шунгит, полученный материал характеризуется равномерностью структурных составляющих. По границам зерен твердого раствора алюминия выделяются мелкодисперсные включения округлой формы первичного кремния по реакции



что является возможным для повышения износостойкости поршня, его жаропрочности.

Установлено, что входящие в состав шунгита другие оксиды взаимодействуя с алюминиевой матрицей, способствуют измельчению зерна и эвтектических компонентов, устраняют дентридную структуру сплава (рис. 5).

Результаты исследования на трение показали, что наличие углерода с фуллереновой структурой может приводить к аномально низкому коэффициенту трения (снижению почти в 3 раза) и значительному износу материала (рис. 6).

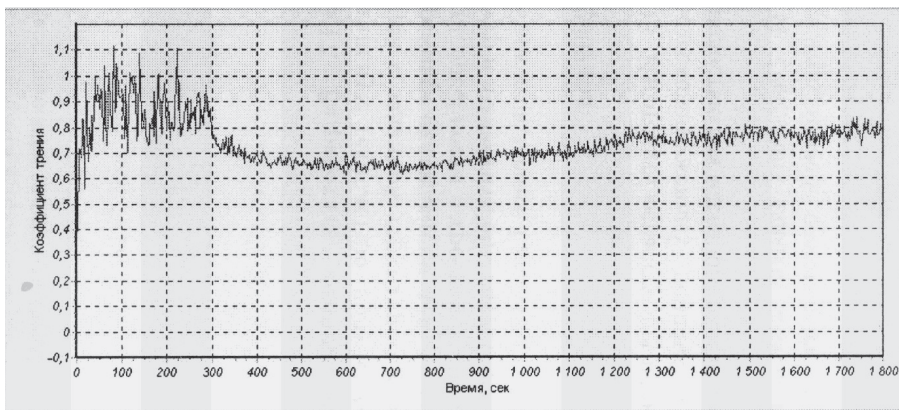


а

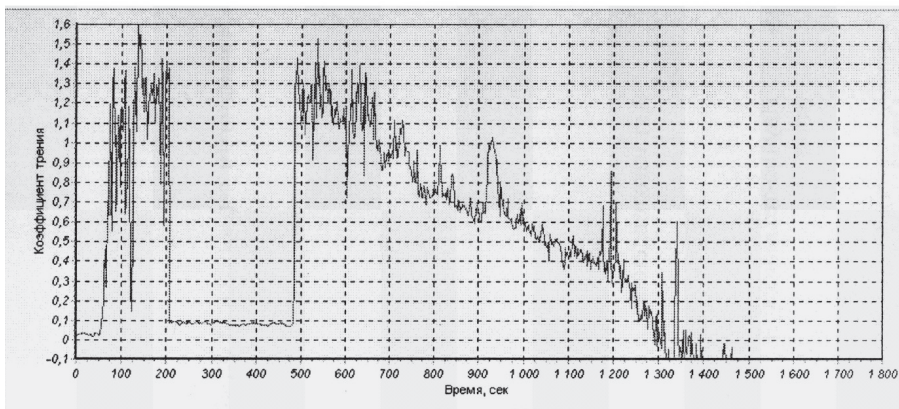
б

Рис. 5. Микроструктура поршневого алюминиевого сплава:

а — исходная, *б* — после обработки лигатурой, содержащей шунгит



а



б

Рис. 6. Изменение коэффициента трения от времени истирания поршневого сплава: *а* — исходного сплава, *б* — обработанного лигатурой 10 % (Al + 10 % шунгит)

Шунгит в металлургии и химической промышленности. Современный взгляд на использование шунгитовых пород в металлургии довольно широко обсуждается в технической литературе и на научных конференциях [6–9]. Среди таких направлений можно выделить использование шунгита в выплавке литейного чугуна, когда

кокс заменяется меньшим содержанием шунгита (85–90 %). При доменной плавке передельного чугуна наряду с заменой кокса на шунгит может проявляться способность образования на стенках печи (в нижней части горна) карбида кремния, увеличивающего тем самым срок службы печи.

Благодаря эффекту повышения электросопротивления шихты с шунгитовой породой, может быть увеличено содержание углерода в сплаве без повышения температуры электроплавки, что имеет практическое значение при выплавке кремнийсодержащих сплавов.

Таким образом, высокое содержание кварца и оксида кремния в шунгите делают его эффективным для получения литейного чугуна, ферросплавов, желтого фосфора карбида кремния, металлического кремния, жидкого шлакоудаления в металлургии. Добавление порошкообразного шунгита в резинотехнические смеси позволяет повысить адгезию резины к металлическому корду в производстве автомобильных шин, мото- и велопокрышек, причем возрастает прочность и износостойкость изделий.

Шунгит для экранирования электромагнитного излучения. Под эффек-

тивностью экранирования в настоящее время понимается не просто величина ослабления электромагнитного излучения, что реализуемого с помощью металлических экранов, а также минимизация отражения энергии электромагнитной волны от экрана при обеспечении невысокой массы, габаритов и стоимости. Физико-химическая

структура материала делает шунгит уникальным материалом для экранирования. Ослабление энергии электромагнитного поля в значительной степени осуществляется электропроводным углеродом, а отраженная углерода электромагнитная волна рассеивается на частицах оксида кремния, реализуя таким образом незначительный коэффициент отражения (около -4 дБ в диапазоне частот $8-12$ ГГц для слоя толщиной от 3 мм). Наиболее рациональное решение для получения широкодиапазонных экранов электромагнитного излучения пониженной массы, габаритов и стоимости — использование шунгита как порошкообразного наполнителя композиционных экранирующих материалов. В таких конструкциях подбором концентрации наполнителя, связующих веществ, количества слоев и порядка их чередования возможно формирование экранов, эффективно подавляющих ЭМИ в широком диапазоне частот с низким значением коэффициента отражения, невысокой стоимости и улучшенными массогабаритными характеристиками. Благодаря биполярности порошкообразный шунгит смешивается со всеми известными веществами (водными суспензиями и фторопластами, каучуками, смолами и цементами и др.). Минерал обладает ингибирующими свойствами, что при использовании совместно с металлическими компонентами конструкций экранов повышает срок службы последних и обеспечивает стабильность их экранирующих характеристик [10].

В ходе исследований, проведенных в Белорусском государственном университете информатики и радиоэлектроники, изучены экранирующие свойства шунгита и разработано ряд технических решения для экранирования электромагнитного излучения. Например, установлено, что слой порошкообразного шунгита толщиной от 3 мм ослабляет электромагнитное излучение на величину до 40 дБ в диапазоне частот до 120 ГГц. Повысить эффективность подавления ЭМИ порошкообразным материалом возможно использованием различных способов модифицирования: контактирование его частиц с водой, химическое осаждение металлов и управление содержанием в них углерода химическим вытравливанием оксида кремния [10, 11].

Весьма высокую эффективность экранирования имеет влагонасыщенный шунгит. Экспериментально установлено, что при влагонасыщении порошкообразного шунгита $25-50$ масс.% подавление электромагнитного излучения увеличивается с 9 дБ до $35-40$ дБ в диапазоне частот

$8-12$ ГГц при толщинах герметизированных образцов 3 мм, что практически аналогично эффективности экранирования алюминиевой фольги, однако в отличие от нее подавление электромагнитного излучения осуществляется за счет потерь энергии на переориентацию диполей воды и переотражение от углерода с дальнейшим рассеянием на частицах оксида кремния в углеродной сетке (коэффициент отражения составляет $(-1,8)-(-5)$ дБ).

Для увеличения гибкости конструкции экранов в состав модуля вводится гибкое армирующее полотно — ПАН или целлюлозное, позволяющее надежно фиксировать порошкообразный наполнитель (рис. 7). В диапазоне частот $0,8-141,2$ ГГц значения ослабления и коэффициента отражения влагосодержащих экранов ЭМИ достигают соответственно 40 дБ и -15 дБ [11].



Рис. 7. Гибкий многослойный влагосодержащий экран

При использовании композиционных экранов электромагнитного излучения, в которых порошкообразный шунгит (в том числе термически или химически модифицированный) распределен в полимерном связующем, герметизация не требуется. Предложено две базовых конструкции (четвертьволновой и градиентный экраны, рис. 8). В диапазоне частот $8-12$ ГГц эффективность подавления электромагнитного излучения такими экранами не ниже 40 дБ при значениях коэффициента $(-14)-(-15)$ дБ, что достигается за счет диэлектрических потерь, потерь на проводимость, многократных переотражений электромагнитных волн от различных слоев конструкции и их взаимной компенсации [10].

Установлено, что характеристики ослабления и поглощения электромагнитного излучения экранами электромагнитного излучения на основе порошкообразного шунгита в диапазоне частот

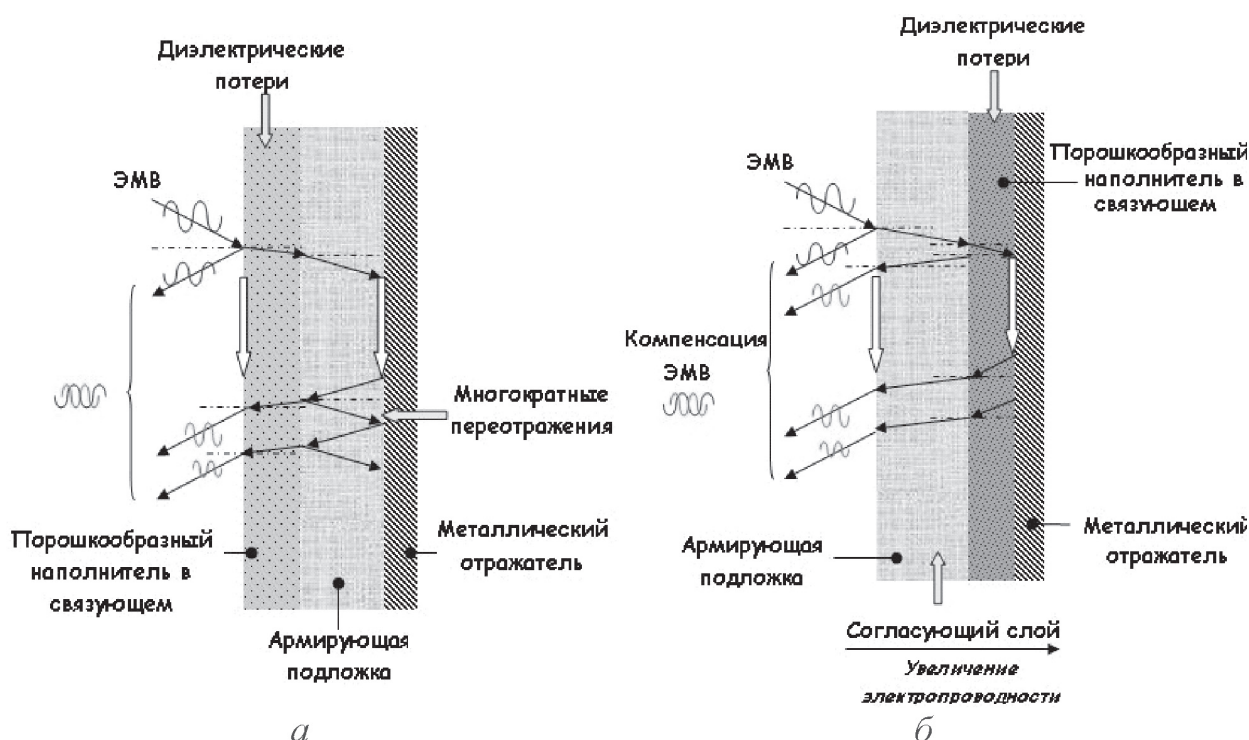


Рис. 8. Базовые конструкции экранов электромагнитного излучения: четвертьволновой (а) и градиентный (б) экраны

1996 г. в Военно-медицинской академии в Санкт-Петербурге, после известной трагедии аналогичная комната открыта в Беслане [8, 9]. Такая же комната есть в знаменитой российской тюрьме «Матросская тишина». Шунгит в чистом виде применен в качестве вставок в полу Казанского собора, а в Исаакиевском соборе весь внутренний нижний пояс выполнен из шунгита.

Добавление шунгитового порошка в строительные материалы придает им антипригарные, и антикоррозийные свойства, повышает пожаробезопасность. Шунгитсодержащие электропроводные материалы могут быть использованы как нагреватели малой удельной мощности, экологические, пожаробезопасные, для обогрева помещений. На основе шунгитового порошка могут быть получены электропроводные краски, материалы и элементы электронной техники для защиты человека от негативного влияния электромагнитного излучения, обеспечить электромагнитную совместимость в системах связи, блокировать электромагнитный канал утечки информации и для противорадиолокационного маскирования объектов [11, 12].

Шунгит в строительстве. Добавление шунгитового порошка в краски и строительные материалы придает им антипригарны, и антикорро-

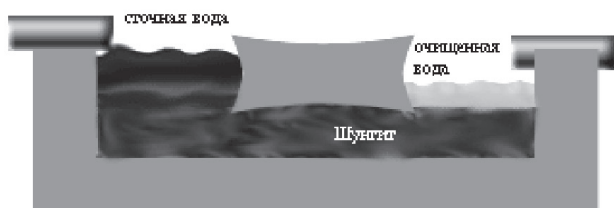
производство фильтров на основе шунгита началось в 1990-х годах, за это время было проведено не одно исследование, посвященное воздействию очищенной воды на организм человека. Ученые Российской Военно-Медицинской Академии показали, что вода, очищенная шунгитом обладает лечебно-профилактическим действием. Гидрофобные глобулы углерода, распределенного в гидрофильной силикатной матрице, в водной среде создают условия, при которых этот углерод находится в квазистационарном состоянии. Показано, что при свежем изломе минерала наблюдается интенсивный выход углеродных глобул с его поверхности. Контакт воды со свежемельченным шунгитовым минералом приводит к структурированию водного раствора. Ионы, образующиеся при контакте шунгита с водой, уменьшают вязкость воды, увеличивают ее текучесть, что повышает ее проницаемость для стенок клеток и капилляров тела и может усиливать клеточные обменные процессы, в том числе и фармакокинетики лекарственных средств [13, 14].

Шунгит очищает воду от различных неорганических и органических примесей, ряда микроорганизмов, убирает из нее мутность, привкусы, запахи, насыщая воду солями кальция и магния, а также микроэлементами до оптимальной для

человеческого организма концентрации, обеззараживает воду без применения хлорирования или ультрафиолетового облучения.

Вышесказанное нашло практическое применение в процессах подготовки воды в бытовых фильтрах, для центрального водоснабжения и очистки промышленных стоков, для которых шунгит не уступает по качеству активированному углю, но полезней, так как не образует хлороорганических соединений и значительно его

дешевле. Незначительное количество в шунгите соединений железа с серой окисляет воду, создавая губительную среду для многих микроорганизмов. Для снижения кислотности в фильтры в бытовые водоочистительные фильтры добавляется доломит. В Москве реализуется комплексная целевая программа «Шунгит», в рамках которой построены водоочистительные фильтры для стоков с дорог (рис. 9) [15].



а



б

Рис. 9. Шунгитовые фильтры для очистки сточных вод с Московской кольцевой дороги: схематическое изображение (а) и внешний вид (б)

Сорбционные свойства шунгита проявляются и по отношению к газовым средам, что дает возможность использовать шунгит для **очистки воздуха** от органических соединений и неорганических газов.

Также каталитические и сорбционные свойства шунгита применяются для **электрохимического восстановления цветных металлов** из ионов в промышленных стоках гальванических заводов при добавлении минерала в качестве электродной засыпки.

Бактерицидные свойства шунгита имеют большие перспективы **в сельском хозяйстве** как агрономические подкормки, повышающие срок хранения овощей, и пищевые добавки для животных [16].

Шунгитовые пасты используются для лечения аллергических, кожных, составных и мышечных заболеваний, а также наряду с очищенной шунгитом водой используются в **фармакологии и косметологии**. Шунгит эффективен и как добавка в имплантаты из титана, из керамики, из пластмассы, он повышает их приживаемость в организме, способствует заживлению ран, и радиопротектор для лучевой и химической терапии раковых больных [8].

Вышесказанное делает шунгит перспективным материалом для изучения и дальнейшей разработки экологически безопасных низкостоймых технологий в медицине, металлургии, радиоэлектронике, строительстве, сельском хозяйстве и других сферах.

Литература

1. Филиппов, М.М. Шунгитоносные породы Онежской структуры / М.М. Филиппов. — Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2002. — 93 с.
2. Волков, И.А. Версия о фуллереновой природе пористости глобулярных шунгитов Карелии / И.А. Волков, И.А. Кушмар // Углеродсодержащие формации в геологической истории: тез. докл. Междунар. симп., 2–7 июня 1998 г. — Петрозаводск: Карельский научный центр Российской академии наук, Институт геологии, 2000. — С. 121–124.
3. Золотухин, И.В. Фуллерит — новая форма углерода / И.В. Золотухин // Соросовский образовательный журнал. — 1996. — № 2. — С. 51–56.
4. Волочко, А.Т. Переработка и использование алюминиевых отходов в производстве порошков, паст, композиционных и керамических материалов / А.Т. Волочко. — Минск: Бел. наука, 2006. — 302 с..

5. Применение графита и дисульфида молибдена. — М.: ВНИИЭМ, 1966. — 26 с.
6. Волочко, А.Т. Измельчение структуры вторичных алюминиевых сплавов / А.Т. Волочко, А.Ю. Изобелло // Новые материалы и технологии: порошковая металлургия композиционные материалы, защитные покрытия, сварка: Материалы докладов 8-ой МНТК. — Минск, 27–28 мая 2008. — С.78–79.
7. Шунгиты и безопасность деятельности человека: Материалы 1-ой Всероссийской научно-практической конференции, 3–5.10.2006 г.
8. Подчайнов, С.Ф. Лекция о целебных свойствах минералов в Петрозаводске / С.Ф. Подчайнов.
9. Юнчик, Л. Состоится ли шунгитовый прорыв? / Л. Юнчик // Республика. — 2006. — №1 97.
10. Криштопова, Е.А. Влияние свойств выбранного связующего на эффективность поглотителей ЭМИ, изготовленных из порошкообразного шунгита / Е.А. Криштопова, Л.М. Лыньков, Т.В. Борботько // Доклады БГУИР. — 2007. — № 6. — С. 3–8.
11. Лыньков, Л.М. Радиопоглощающие материалы для радиоэлектронной аппаратуры с порошкообразными шунгитами в качестве наполнителя Л.М. Лыньков, Е.А. Криштопова, Т.В. Борботько // Проблемы проектирования и производства радиоэлектронных средств: материалы III Междунар. науч.-техн. конф., Новополоцк, 29–30 мая 2008 г. / ПГУ; редкол.: М.Л. Хейфец [и др.]. — Новополоцк, 2008. — Т. 1. — С. 90–93.
12. Радиопоглощающие свойства гибких экранов электромагнитного излучения на основе порошкообразных шунгита и таурита / Л.М. Лыньков [и др.] // Сб. научных статей Военной академии Республики Беларусь. — 2008. — № 15. — С. 57–61.
13. Чечевичкин, В.Н. Физико-химические особенности взаимодействия минерала шунгит с водными структурами и возможные механизмы лечебно-профилактического действия шунгитовых препаратов / В.Н. Чечевичкин // Опыт применения минерала шунгит в культурологии: материалы I городской научн.-практ. конф., Санкт-Петербург, янв. 1998 г. / Научно-технический центр «Машэкология», Научно-производственная фирма «Минеральная продукция» и др.; редкол.: Чечевичкин В.Н. [и др.]. — Санкт-Петербург, 1999. — С. 6–10.
14. Аюкаев, Р.И. Производство и применение фильтрующих материалов для очистки воды / Р.И. Аюкаев, В.З. Мельцер. — Л.: Стройиздат, Ленингр. отд-е., 1985. — 120 с.
15. ООО «Научно-производственный комплекс «Карбон-шунгит». — Петрозаводск: Издательство «Скандинавия», 2000.
16. Использование шунгита для птиц и животных / Компания Стройсинтез [Электронный ресурс]. — 2003. — Режим доступа: <http://shung.narod.ru/arch.html>.

НАШ ОТВЕТ ЧЕМБЕРЛЕНУ, ИЛИ СТРАТЕГИЧЕСКАЯ АВИАЦИЯ СССР

Клеванец Ю. В.

Прежде, чем начать описание советских атомных бомбовозов, необходимо остановиться на «общих» вопросах.

Во-первых, нужно сказать, что в условиях войны окончательно сложилась так называемая «командно-административная система» управления всеми сторонами жизни Советского Союза. Как известно, в такой системе сверхценность обретают сигналы, идущие «сверху вниз». Обратные же связи тормозятся, а то и вовсе искореняются. Существование такой системы управления в значительной мере оправдывалось войной, но во время перехода к мирному строительству ее следовало бы постепенно, без лишней спешки, но непременно свернуть, во всяком случае, тот ее сегмент, что не касался ВПК, добычи и первичной переработки полезных ископаемых, железных дорог и энергетики.

Как командно-административная система отразилась на авиации? Рассмотрим примеры. С одной стороны — волевое решение Сталина о копировании американского Б-29 следует признать правильным (см. «Инженер-Механик № 4/2005»). Но это правильное решение породило стремление угодить хозяину. Даешь копирование! Советским конструкторам «в целом» удалось отбиться от настойчивых попыток навязать им повторение «сырой» немецкой реактивной техники, в частности — истребителя Ме-262. Однако в то же время работа по копированию американского «Сейбра» была проведена в полном объеме почти до запуска в серию, несмотря на очевидную неперспективность.

В таких условиях Главному или Генеральному конструктору нужно было обладать недюжинными пробивными способностями, чтобы его детище не увязло в болоте согласований или его не загрузили созданием бесполезных вещей. Таковы были «правила игры» на данном поле.

Теперь о предпосылках создания стратегической авиации в СССР.

Экспериментальные наработки

В саду отечественной авиации в 1930-е годы цвели разные цветы. Сразу несколько коллективов конструкторов с целью добиться повышенной скорости и дальности полета строили планеры и самолеты схем «летающее крыло» и «бесхвостка» (руководители Беляев, Калинин, Кузаков, Москалев, Неман, Черановский — я назвал еще не всех). Велись работы по применению новых материалов (нержавеющей сталью занимался Бартини, сплавами на основе магния — коллектив МАИ). Неистовые фанатики ГИРДа строили ракеты и ракетные двигатели, а конструктор-моторист Люлька запатентовал реактивный двигатель с осевым компрессором. Однако многие работы прекратились политическими репрессиями, судьбы специалистов высокого или высочайшего класса были поломаны. Таким образом, если в 1930-е годы СССР в части перспективных исследований в области авиации находился в русле мировых достижений, то к окончанию Второй мировой войны наметилось наглядное отставание. Кстати и принципиальное решение конструкции атомной бомбы было так же, как и реактивный двигатель, запатентовано харьковскими учеными еще до войны безо всякой помощи советской разведки и перебежчиков из атомного центра в Лос-Аламосе, которого, впрочем, еще не было и в мечтах.

Сталин решил проблему послевоенного отставания советской авиации привычным для себя способом: было раздуть «дело летчиков». Дальними следствиями этого «дела» стали смещения с должностей сперва Мяснищева, а за ним — Сухого. Тучи, по-видимому, сгущались и над Яковлевым, во всяком случае, так он пишет в своих мемуарах.

Двигатели

Как только, по нашей традиции, трудности на ровном месте были созданы, их начали героически разрешать. Еще во время действия соглашения по Ленд-Лизу в Англии вполне легально были закуплены лицензии на производство реактивных двигателей с центробежным компрессором «Нин» и «Дервент». Эти двигатели, да еще трофейные немецкие «Юмо» — турбореактивный с осевым компрессором и турбовинтовой — и стали первой ступенькой для вхождения советской авиации в эпоху реактивного движения.

Центробежный компрессор всегда более тяжелый и громоздкий по сравнению с осевым, однако из-за того, что скорость вращения его крыльчатки ниже, не требуется применения специфической посадки — подшипник в подшипнике. По той же причине в центробежном компрессоре не нужно опасаться возникновения местных сверхзвуковых потоков, мешающих нагнетанию воздуха.

Лицензионные двигатели по советской традиции были форсированы (повышено давление в камере сгорания) и под маркой ВК применялись на истребителях и фронтовых бомбардировщиках около 25 лет.

Сталин кроме того, что был диктатором, обладал еще ясным умом до весьма почтенного возраста. В случае необходимости он сам приподнимал завесу бюрократизма, возвращенного не без его участия, для того чтобы прошло какое-то решение, которое он считал правильным.

Так, в СССР с конца 40-х годов оформилась тенденция создания двигателей большой единичной мощности. На это непростое дело, которое и стало советским «ноу-хау», средства отпускались без сожалений. Дело в том, что мощные двигатели позволяли несколько «расшить» узкое место всей советской техники — неэкономичность. Прямое копирование иностранных ТРД тягой 2–5 т (20—50 кН) не позволило бы создать конкурентоспособные боевые машины из-за вековой болезни — невысокой исполнительской культуры. Разработка двигателей большей, чем у соперников, мощности, компенсировало недостатки уже даже тем, что два двигателя будут всегда тяжелее одного при сопоставимой мощности. Значит, советский самолет мог взять больше топлива хотя бы на величину разницы в массах двигателей, что уравнивало шансы в части обеспечения определенной дальности полета.

Организованное впоследствии Хрущевым «раскулачивание» авиации в пользу ракетной техники больней всего ударило по тем отраслям

отечественного авиапрома, которые были не на виду, то есть по двигательным и агрегатным КБ и заводам. Западные фирмы получили, таким образом, возможность «за просто так» догнать советские образцы по части тяги двигателей, а затем и превзойти их. Со второй половины 1960-х годов создать действительно конкурентоспособный самолет в СССР становилось все труднее. Особенно наглядно такая тенденция проявилась в гражданской авиации. Впрочем, здесь мы уже отошли от темы предпосылок создания бомбардировщиков.

Высотное оборудование

Комплекс проблем, связанных с повышением высотности тяжелого самолета, впервые в СССР был решен на «Объекте 102», который строился в специфических условиях СТО НКВД под руководством В. М. Мясничева. Показатели, полученные этим бомбардировщиком, равнялись или несколько превосходили соответствующие данные самолета Ер-2 КБ Бартини-Ермолаева, за исключением того, что высотность была на 2–3 км большей, т. е. дальность полета с 1 т бомб составляла 4000 км, полная загрузка была 4 т, крейсерская скорость немного выше 400 км/ч, а максимальная — 540–570 км/ч. Самолет «102», таким образом, можно считать выдающимся даже по сравнению с американскими образцами, в целом — менее высотными.

Большой «потолок» бомбардировщика «102» достигался за счет применения мощных звездообразных двигателей с турбокомпрессорами. Все кабины экипажа были герметичными, а бортовое оружие имело дистанционные гидроприводы. Конечно, ЭВМ в системе управления не было. Кроме того, отдельные элементы конструкции были, что называется, «сшиты на живую нитку». Но тем не менее «102» мог бы стать грозной силой. Ходу ему не дало то, что серийные заводы никак не могли освоить производство турбокомпрессоров. Опытные агрегаты в Советском Союзе получались, а серийные никак. Да и в целом самолет был сложен для серийных заводов.

На основании своего «102» Мясничев спроектировал и тяжелый дальний четырехмоторный бомбовоз, данные которого соответствовали американской «Суперкрепости». В производство его не запустили по той же причине, по которой «не пошел» и «Объект 64» конструкции Туполева: Сталин принял решение копировать Б-29.

В высотное оборудование входит и антиобледенительная система. На американском Б-29 она представляла собой резиновые протекторы, натянутые на носки крыла, кия, стабилизатора. При

необходимости внутрь подавался воздух, протектор вспучивался, скалывая с себя лед. Такая остроумная конструкция неплохо себя показала при испытаниях, но в эксплуатации вызвала необходимость содержать дополнительных дефектовщиков, которые постоянно следили за целостностью резины и ремонтников. Кроме того, надутый протектор в полете нарушал обтекание и снижал скорость.

В СССР резиновые протекторы нигде не применялись, кроме копии Б-29, самолета Ту-4. Советские инженеры устраивали подогрев элементов конструкций, подверженных обледенению при помощи электрических ТЭНов, либо отбирая горячий воздух от двигателя.

Аэродинамическая и компоновочная схема

Поскольку собственных разработок реактивных самолетов в СССР не было, решили воспользоваться немецким опытом. Для этого в Советский Союз вывезли заместителей Юнкерса Брунольфа Бааде и Ганса Ресслинга вместе с частью коллектива, с семьями и даже с шеф-пилотом-испытателем. В качестве формального прикрытия «немецкой шарашки» было организовано отдельное КБ с опытным производством.

Работы КБ С. М. Алексеева

Семен Михайлович Алексеев во время войны был заместителем Лавочкина. После войны ему было поручено сформировать под эгидой МГБ новое КБ со значительной долей немецкого персонала.

Это странное КБ давно расформировано и забыто. О нем знают только любители авиации. А в конце 1940-х – начале 1950-х годов это были главные копиисты Советского Союза. Здесь был повторен реактивный бомбардировщик Ю-287 с крылом обратной стреловидности и самолет-снаряд Фи-103. Разрабатывался ракетный истребитель. Коллектив КБ участвовал также в конкурсе на фронтовой истребитель, где победителем стал МиГ-15. Но нам сейчас интересен тяжелый бомбардировщик.

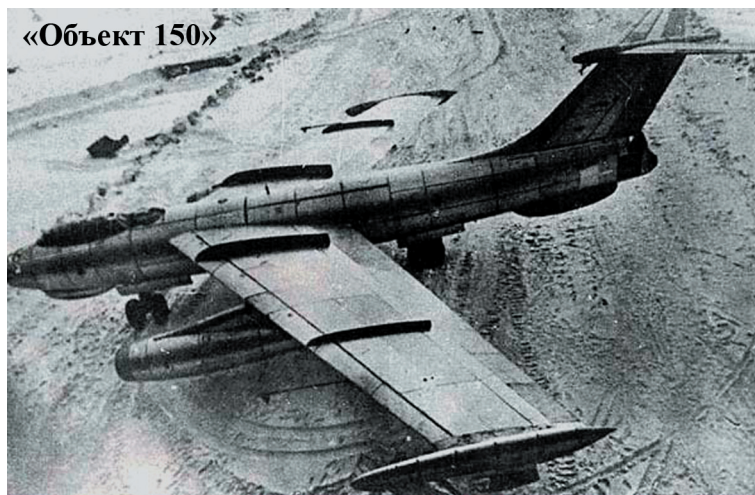
«Объект 150», разработанный КБ Алексеева (первый вылет — январь 1951 года) очень похож на американский Б-52. Такое сходство неслучайно: оба этих самолета — производные от разработок фирмы «Юнкерс». Только «150» в большей

мере повторял немецкий проект, предназначался для Европейского ТВД, был примерно в два с половиной раза меньше по размерам, чем Б-52, и раз в пять легче.

Самолет был оснащен велосипедным шасси с двухколесными тележками, двумя двигателями АЛ-5 КБ А. Люльки по 5 т тяги каждый располагались в мотогондолах, подвешенных на пилонах под крылом. Двигатели выставлялись в подвесах с расчетом на то, что они будут в полете противофлаттерными балансирами. Крыло было стреловидным, относительно небольшим, с использованием так называемой «аэродинамической крутки», т. е. на разных участках крыла использовались разные аэродинамические профили. На консолях также были гребни, не допускающие перетекание потока от корня консоли в область элеронов. Перетеканию потока с нижней поверхности крыла на верхнюю препятствовали обтекатели крыльевых стоек шасси. Им, расположенным на концах крыла, была придана для этого форма запатентованных «морковок Кюхеманна». Горизонтальное оперение поднято на киль (это было сделано для избежания вредного влияния на стабилизатор потока воздуха, сходящего с крыла; в большем по размерам Б-52 стабилизатор и так удален от вредных воздействий).

Оборонительное вооружение состояло из двух дистанционно управляемых башенок по две пушки в каждой: одна сразу же за кабиной экипажа, похожей на кабину американского бомбовоза Б-47 (т. е. пилоты сидели друг за другом, за ними, спиной к направлению полета — передний стрелок), а вторая — в хвосте самолета. Всего в экипаже было пять человек: два пилота, два стрелка, штурман.

Надо заметить: «истребительная» кабина и на Б-47, и на самолете «150» применялась из-за



«Объект 150»

того, что именно под такую компоновку были рассчитаны разработанные в то время катапультируемые кресла. Впрочем, о возможности покидания самолета при аварии в современной литературе не говорится.

При взлете из задней стойки шасси самолета (на нем применялась жидкостно-газовая амортизация) насосом выкачивалось масло. По мере работы насоса самолет «приседал» на задние колеса, соответственно угол атаки крыла возрастал, что уменьшало взлетную дистанцию.

Немецкие конструкторы весьма своеобразно решили проблему восприятия мощных крутящих моментов, возникающих в полете на стреловидном крыле. Они не стали утолщать обшивку, превращая ее в панель, а набрали из обычного строенного листа своеобразный «сэндвич». При этом средняя часть «сэндвича» предварительно отформовывалась в виде листа шифера, а два обыкновенных плоских листа приклепывались по «волнам» сверху и снизу. Все это, конечно, увеличило трудоемкость, ведь надо было не просто склепать «слоеный пирог», но еще и выдержать при этом аэродинамический профиль. В литературе сообщается, что на этом самолете впервые был применен алюминиевый высокопрочный сплав В-95.

КБ Алексева использовало для управления своего бомбардировщика весьма сложную гидросистему, превосходящую как по мощности, так и по сложности все, что имелось на тот момент в СССР. Исполняющими органами в ней стали не бустеры, а гидромоторы.

В литературе также говорится об использовании электромеханических приводов, состоящих из электродвигателя и пары «винт – гайка» с шариками в винтовых канавках.



Однако параллельно разработке и строительству опытного экземпляра у руководства страны нарастала уверенность в том, что «150» будет только отвлечением средств от решения действительно стратегических задач: с его 4500–5000 км дальности невозможно было дотянуться до основного вероятного противника — США. Поэтому, когда с самолетом при посадке в одном из испытательных полетов произошла авария (скорость снижения была слишком высока, машина, коснувшись ВПП задней парой колес, получила сильный момент на нос, отчего произошел хлесткий удар передними колесами по бетонке, переднюю стойку шасси сорвало с креплений и она проткнула кабину пилотов), тему поспешно прикрыли. Опытный экземпляр не стали восстанавливать, его порезали на части и отправили в МАИ в качестве наглядного пособия для студентов.

Новое руководство страны ликвидировало «шараги» и отпустило немецких специалистов в ГДР. Брунольф Бааде несколько лет занимался там переделкой своего бомбовоза в пассажирский самолет. Однако правительство новой Германии по непонятным для автора этой статьи причинам закрыло тему. Бааде эмигрировал в ФРГ.

(Продолжение в следующем номере)

