

**ОБ ИСПЫТАНИЯХ ПОДАТЛИВЫХ СТАЛЬНЫХ  
РАМНЫХ КРЕПЕЙ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК**

Викладені вимоги щодо стендових випробувань сталевих рамних кріплень гірничих виробок.

**ABOUT INVESTIGATION OF MALLEABLE  
STEEL FRAME TIMBERING OF WORKINGS**

Demands to stand investigation of steel frame timbering of workings are expounding

В качестве особо ответственных металлоконструкций стальные рамные крепи, как серийные, так и вновь создаваемые подлежат различного рода испытаниям, предшествующим получению допуска к производственной проверке в шахтных условиях (новые крепи), или постоянному применению – серийные ( в том числе крепи, используемые повторно, после восстановления). Естественной целью стендовых испытаний, как модельных, так и полномасштабных является получение по возможности наиболее достоверных значений силовых и кинематических параметров. Степень достоверности определяемых параметров непосредственно определяется рядом обязательных условий, смыслом которых является соблюдение, прежде всего, основных критериев подобия, как геометрических, так и силовых. Тем не менее, обязательным является и соблюдение внешних критериев, охватывающих как схему нагружения испытываемых конструкций, так и режимы их нагрузки. Очевидно, что при невыполнении указанных условий получаемые результаты не могут считаться достоверными, а их использование в производственных условиях оказывается весьма сомнительным и даже небезопасным. Таким образом, если в результате предварительных лабораторных (стендовых) испытаний необходимая степень достоверности получаемых результатов не может быть обеспечена, сами испытания такого рода утрачивают основной смысл и абсолютно необходимым оказывается внесение радикальных изменений как в методики их проведения, так и в само их содержание.

Основными параметрами, подлежащими определению в процессе предварительных испытаний стальных рамных крепей являются силовые и кинематические. При этом для жестких конструкций (равно и т.н. ограничено податливых) в качестве силовых определяется единственный параметр – предельная несущая способность.. Для податливых конструкций (подавляющее большинство случаев) помимо значений предельной несущей способности определяется величина рабочего сопротивления во всем интервале предусмотренной конструктивной податливости, являющейся важнейшей кинематической характеристикой. Таким образом, для податливых конструкций достоверные определения двух основных силовых параметров являются обязательным, т.к. их соотношением определяется запас прочности и степень надежности реализации податливого режима. Например , согласно современным представлениям, нашедшим отраже-

ние в отечественной практике, запас прочности рамных податливых крепей должен быть не менее 1,5-1,7 [1].

Предельная несущая способность является расчетным параметром, определяемым известными методами строительной механики и статики сооружений, что и делалось вплоть до недавних времен. В настоящее время имеется ряд компьютерных программ, позволяющих значительно сократить объемы и время выполнения расчетов и, более того, уже на расчетной стадии проварьировать варианты выбора оптимальной формы поперечного сечения при различных схемах нагружения конструкции внешними силами, а также произвести расчет напряжений в любой точке периметра крепи. Наибольшую трудность при этом представляет не сам расчет, а корректное обоснование схемы нагружения. Само собой разумеется, что проверяемая схема нагружения не может быть «задана» по воле экспериментатора, а должна с полной несомненностью отражать реальные условия, возникающие при проведении и эксплуатации конкретной выработки. Иными словами, единственно достоверным источником данных, определяющих состав и характер нагружающих усилий могут быть только натурные наблюдения по выработкам-аналогам. При этом необходимые предварительные наблюдения должны принимать к учету многочисленные данные геологического характера, - наличие плоскостей смесителей (по протяженности проектируемой выработки), их пространственную ориентировку относительно оси выработки, изменения угла залегания пласта и др. Наличие подобных факторов, как показывает отечественный [2] и зарубежный [3] требует их обязательного учета при проектировании проходки, т.к. существенным образом изменяет достаточно типичную и стабильную в целом схему нагружения. Вполне понятно, что стендовая проверка конструкции под нагрузкой должна исходить из необходимости учета данного момента, т.к., например, даже изменение взаимного положения главных осей симметрии сечения и схемы нагружения может изменять значение параметры предельной несущей способности в несколько раз [1] и при этом – в меньшую сторону. Тем самым, расчетные значения предельной несущей способности, определенные для случая полного совмещения осей симметрии являются по существу максимальными. Сказанное относится также в полной мере и к определяемым непосредственно стендовыми испытаниями параметрам рабочего сопротивления и конструктивной податливости. Значение данного обстоятельства трудно переоценить, а необходимость таких определений не подлежит даже обсуждению, т.к. является насущным требованием практики горного дела. В то же время, весьма высокая трудоемкость стендовых испытаний, наряду с принципиальной невозможностью имитации на стендах существующих конструкций сложных схем нагружения, привели к созданию как недостаточной достоверности получаемых результатов, так и побудили исследователей к пересмотру программ предварительных испытаний и, в частности, к полному отказу от полномасштабных проверок. Так, например, в Германии полномасштабные стендовые испытания уже с начала 80-х гг. прекращены, а сам стенд ликвидирован. Вполне достаточными считаются расширенная программа расчетов и, для отдельных случаев, - испытания алюминиевых моделей в масштабе 1: 10 [4] Окончательный ответ дают

масштабе 1: 10 [4] Окончательный ответ дают шахтные испытания, проводимые или на экспериментальной шахте “Тремония” или непосредственно в забоях шахт, осуществляющих производственную деятельность, что означает непосредственно эксплуатационную проверку, позволяющую окончательно подтвердить или опровергнуть данные, полученные на предварительных стадиях. Такой порядок отчасти соответствует также отечественной практике разработки и внедрения новых конструкций. В то же время, отличия отечественной и зарубежной практики испытания податливых стальных рамных крепей весьма существенны, а ряд отличий носит принципиальный характер.

В соответствии с действующими Правилами безопасности, нормативными и руководящими документами, а также ТУ (для серийных крепей) установлен следующий порядок и виды испытаний:

1. Первичные – при создании новых конструкций.
2. Периодические – проводимые с определенной периодичностью (обычно 1-3 года) стендовые испытания контрольных образцов серийных крепей.
3. Эпизодические – при проверке серийных образцов, представляемых после их восстановления с целью дальнейшего повторного использования.

В отдельных случаях, с целью проверки замковых соединений, например, предусматриваются испытания стоек, обычно в параметрах, соответствующих т.н. стойкам «временного усиления» рамных крепей в зоне влияния очистной выемки.

Относительно методических особенностей проводимых испытаний совершенно необходимо отметить следующие моменты, носящие принципиальный характер.

Во-первых, обращает на себя внимание то, что действующими методиками по всем видам испытаний без исключения предусматривается проседание конструкции во всем интервале реализуемой податливости без промежуточной подтяжки ослабляющихся замковых соединений, что противоречит как действующим правилам, так и практике эксплуатации рамных податливых крепей с резьбовыми замками. Ссылки на то обстоятельство, что зачастую на практике эти требования не выполняются и, тем самым, условия стендовых испытаний отражают реальность, не могут быть приняты, т.к. отразить они могут только случаи явного и грубого нарушения действующих правил со стороны исполнителей, что разумеется представляет определенный интерес, но ни в коей мере не может дать исчерпывающие и достоверные данные для нормального случая. Представляется, что такое методическое новшество практикуется по-видимому всего лишь из опасения потерять податливый режим, что весьма вероятно и многократно имело место при стендовых испытаниях традиционных крепей (АП-3, АП-5, АП-3 удлиненная). Очевидно, оно имеет целью не получение объективных данных, пригодных для производителей, а другую – внешне убедительных результатов на стенде. Персонал, действующих шахт такие результаты лишь дезориентируют и могут ввести в заблуждение, создавая опасную иллюзию необязательности выполнения требования об обязательной обтяжке замковых соединений, ослабленных после первых проседаний в узлах податли-

вости.

Во-вторых, действующими методиками стендовых испытаний (ДонУГИ) рамных крепей во всех случаях предусматривается нагружение по одной и той же схеме приложения усилий: каждая рама крепи нагружается двумя вертикальными усилиями, прилагаемыми в  $1/4$  ширины пролета от оси симметрии сечения, горизонтальные усилия с боков не имитируются вообще, а заменены пассивным отпором, возникающим при упругой деформации рамы от вертикальной нагрузки. Косонаправленное нагружение, свойственное практически всем реальным случаям при углах залегания пласта отличным от нуля, не используется, хотя технические возможности существующего стенда это допускают. Таким образом, при испытаниях имитируется некая идеализированная схема нагружения, имеющая весьма отдаленное отношение к реальным случаям, а перенос получаемых результатов в практику представляется более чем сомнительным, т.к. идеализированная стендовая схема дает заведомо завышенные значения как силовых, так и кинематических параметров крепи. Обычные ссылки на то, что подобная схема нагружения предусматривается действующим нормативным документом [5] представляются абсолютно несостоятельными по крайней мере относительно случаев испытаний новых крепей, отличительной особенностью которых является повышенные, примерно в 2 раза, значения рабочего сопротивления, а использование расклинок ведет к потере устойчивости спецпрофиля в местах приложения сосредоточенных сил. Именно по этой причине в зарубежной практике, давно использующей крепи с повышенными параметрами рабочего сопротивления, наличие деревянных расклинок признано однозначно негативным и исключено из действующих правил установки [4], а заменено требованием заполнения закрепного пространства (тампонаж закрепленного пространства, технологии «Bullftex» и т.д.). Применительно к крепям традиционного типа с низкими параметрами рабочего сопротивления практикуемая методика имеет определенный смысл, учитывая, что предназначены они изначально для применения в совершенно новых условиях небольших глубин (до качественного перехода). В этих условиях действительно можно было с определенными натяжками пренебречь смещениями боков ввиду их малости (отсутствие активного подпора), а сосредоточить на создании наиболее благоприятных условий нагружения обычных крепей, как правило, технически весьма несовершенных. В этой связи следует подчеркнуть, что само требование расклинки крепежных рам упомянутым выше образом представляет собой попытку замены возникающей на деле схеме нагружения по центру пролета сосредоточенной силой (от воздействия складчатой структуры в кровле) двумя отнесенными силами. В противном случае серийные крепи циркульного типа, как правило, с самого начала переходили в жесткий режим работы без податливости. В целом практикуемая на стенде схема приложения усилий с очевидностью предназначена не для получения пригодных для практики объективных данных, а используется совсем с другой целью – обеспечить внешне убедительную демонстрацию стендовых испытаний крепей собственной конструкции путем создания наиболее выгодной для них схемы нагружения.

В-третьих, действующий «полномасштабный» стенд таковым в действительности вообще не является, так как его габариты позволяют установить под нагрузку обычные циркульные крепи сечением не более  $13,8 \text{ м}^2$  в свету, а новые эллипсные, овоидные и др. крепи сечением не более  $11,8 \text{ м}^2$  в свету. Даже обычные крепи типов АП-5 или АП-3 удлиненная вообще не могут быть установлены, а их полномасштабные стендовые испытания не проводились никогда. Данные, отражающие их служебные свойства, приводимые в ТУ, получены путем сомнительных экстраполяций по неизвестным методикам. Такой же прием используется при стендовой «проверке» больших сечений обычных трехзвенных крепей ( $15,5$ ,  $18,3 \text{ м}^2$  в свету). Необходимость таких проверок представляет основной предмет т.н. периодических (новые, серийно выпускаемые) и эпизодических (повторно используемые после восстановления) испытаний. Следует заметить, что если проведение подобного рода «испытаний», являющихся в лучшем случае модельными, но никак не полномасштабными, если и имеет определенный смысл применительно к новым типам крепей и вновь изготовленным моделям крепей традиционного типа, то относительно крепей, восстановленных с целью их повторного использования является просто абсурдным, так как степень утраты некоторой части служебных свойств никак не может быть смоделирована, а выдаваемые по результатам сертификаты представляются простой фикцией. Наконец, технические возможности существующего стенда не позволяют получить полную рабочую характеристику во всем интервале конструктивной податливости, так как максимальный ход домкратов не превышает  $450-480 \text{ мм}$ . Крепи новых типов, имеющие величину конструктивной податливости до  $1000 \text{ мм}$  и более, равно как и пятизвенные старого типа (АП-5) разумеется не могут быть испытаны в полном диапазоне. Следует также отметить, что, например, существующий в ДонУГИ «полномасштабный» стенд, изготовленный в 50-е годы XX века создавался для исследовательских целей, исходя из теоретических представлений, отражающих геомеханическую ситуацию этого периода и никоим образом не предназначался для проведения массовых периодических или эпизодических испытаний, по крайней мере, в объемах, настойчиво предписываемых техническими условиями (ТУ) в настоящее время.

В то же время, затраты, связанные с проведением стендовых испытаний всех видов представляют собой достаточно внушительную сумму. Стоимость разового испытания (любого вида) до недавнего времени составляющая  $3,0$  тыс. грн. в настоящее время повышена до  $5,0$  тыс. грн. Таким образом, завод-изготовитель, выпускающий например  $8$  типоразмеров, при частоте периодических испытаний  $1$  раз в год, должен перечислить за их выполнение  $24,0$  тыс. грн., а в целом в масштабе отрасли годовые затраты на производство стендовых испытаний по действующим заводам-производителям могут достигать  $200$  тыс. грн. и более, что с очевидностью является слишком высокой ценой, уплачиваемой за получение малодостоверных данных. Естественным порядком такая ситуация требует немедленного изменения, прежде всего потому, что само использование таких данных в практике крепления представляет несомненную опасность. Определенное недоумение вызывает явное отсутствие желания ис-

пользовать зарубежный опыт, который просто игнорируется. Так, например, в распоряжении того же ДонУГИ имеется модельный стенд, позволяющий осуществлять моделирование в масштабе 1:10 на алюминиевых моделях крепей, т.е. так, как это принято в современной немецкой практике, Этот стенд довольно широко использовался в 60-70-е гг., но в настоящее время заброшен. Объяснением этого обстоятельства может быть только стремление исполнителей не допустить снижения стоимости навязываемых услуг. Действительно, необходимость частых периодических испытаний, предписываемая в настоящее время, представляется по крайней мере необоснованной т.к. не имеет под собой никакой разумной основы. На наш взгляд такие испытания должны быть отнесены к эпизодическим и выполняться только в случаях внесения каких-либо существенных изменений в конструкцию новых замковых соединений, изменение способа гибки сегментов, изменения методики испытаний и т.п. Если такого рода изменения отсутствуют, проведение испытаний многократно повторяющихся в течение примерно 40 лет (серийные крепи) представляет, по меньшей мере, бесполезным упражнением т.к. все необходимые данные по выпускаемой продукции удостоверяют на этапах текущего контроля: физико-механические свойства и химанализ стали удостоверяется заводским сертификатом по каждой партии поставки, геометрические параметры крепей проверяются контрольными сборками с участием ОТК завода-изготовителя и т.д.

Следует остановиться также на ряде методических особенностей практикуемых в настоящее время стендовых испытаний всех видов, представляющихся, по меньшей мере, весьма спорными.

Так, например, при получении параметров рабочего сопротивления, действующей методикой предусматривается определение зависимости «нагрузка – податливость» производить путем соединения верхних пиковых значений. Такой прием на деле означает получение в итоге не функции, а некоторой совокупности точек, характеризующих максимальные значения рабочего сопротивления и позволяет судить лишь о соблюдении запаса прочности конструкции. Для сравнительного анализа различных конструкций знание только одного этого параметра является с полной очевидностью недостаточным, так как сравнение податливых крепей требует определения интегрального критерия, являющегося на сегодняшний день единственно корректно обоснованным [6] Такой критерий, представляющий работу, производимую крепью при проседании под воспринимаемой нагрузкой на определенную величину, требует знания усредненного значения величины рабочего сопротивления по каждому промежуточному интервалу податливости, а также в целом. Для такого усреднения и определения непрерывной функции наряду с максимальными значениями рабочего сопротивления требуется знание также и соответствующих максимальных значений, что дает одновременно и величину разброса, также являющуюся одним из дополнительных критериев сравнения различных конструкций, позволяющим определить их качество. Таким образом, практикуемая номенклатура показателей, определяемых стендовыми испытаниями, в настоящее время требует безусловного пересмотра в сторону их расширения. Тем более, что установив-

шимся порядком получаемые описанным образом значения параметров рабочей характеристики приводится в технических условиях (ТУ) и справочных материалах, т.е. являются ориентирами для производителей при выборе типа крепи и плотности ее установки. Являясь заведомо завышенными и тем самым непригодными для практики, используемые значения рабочего сопротивления могут привести и к ошибочным решениям при эксплуатации крепей.

Дополнительно следует отметить, что параметры стендовых характеристик, как и сам ее вид, существенно отличаются от реализуемых в шахтных условиях. Причинами такого различия являются резко отличающиеся скорости нагружения и влияние технологических особенностей установки крепи в реальной выработке. Ни одна из этих способностей не имитируется при стендовых испытаниях, так как или не предусматривается действующей методикой (технология), или вообще не может быть имитирована в принципе (скорость нагружения). Учитывая, что реализуемые в шахтных условиях параметры рабочей характеристики отличаются от стендовых, как правило, в меньшую сторону [7], принятие стендовых значений «аргіогі» для определения практической плотности крепления представляется недопустимым. К сожалению, систематические исследования данного вопроса в настоящее время неизвестны, несмотря на очевидную их актуальность.

В заключение считаем необходимым обратить внимание еще на один момент, являющийся серьезным препятствием и значительно увеличивающим сроки разработки испытаний и внедрения насуточно необходимых конструкций рамных крепей, отвечающих условиям применения при больших глубинах разработки. Исторически сложившийся порядок разработки новых конструкций рамных податливых крепей (ГОСТ. РД. ПБ) предусматривает выполнение разработок в несколько стадий, с многочисленными согласованиями, экспертизами и комиссиями, не делая разницы между крепями, являющимися типичной металлоконструкцией и угледобывающими механизированными комплексами. Очень характерно, что сам ГОСТ, равно и РД не содержат термина «металлическая рамная крепь». Равным образом в действующих Правилах безопасности такой термин также не употребляется (п.п. 1.1; 1.2; 1.3), а согласно устным разъяснениям представителей ГИОТ данный термин отождествляется с понятием «новые материалы», что представляется, по меньшей мере, весьма спорным. Кроме того, сам порядок прохождения разработки прописан (п.1.2) двойственным образом: один вариант предусматривает прохождение экспертизы в ЭТЦ (по данным ГИОТ), второй, равноправный – через головной институт по безопасности (МакНИИ). В обоих вариантах предусматривается, что новая конструкция стальной рамной крепи в обязательном порядке должна быть согласована с органами пожарной охраны, санэпиднадзора и профсоюза (!). Естественно, что все согласования экспертизы и получение окончательного заключения (сертификата) являются услугами платными, а по смыслу в большинстве случаев представляются совершенно излишним тормозом процесса технического перевооружения угледобывающей отрасли.

## **Выводы.**

1. Практикуемая в настоящее время система предварительных, периодических и эпизодических стендовых испытаний стальных рамных податливых крепей реализуется на полностью устаревшей технической базе, основывается на устаревшей концепции, не учитывающей и игнорирующей качественные изменения условий поддержания горных выработок на шахтах с тяжелыми геомеханическими условиями.

2. Используемые при испытаниях методики некорректны, не отражают имеющего места на шахтах положения, а получаемые результаты недостоверны, непригодны для использования, представляют серьезную опасность для практики и требуют коренного пересмотра.

3. Объемы испытаний всех трех видов представляются неоправданно завышенными, также как и затраты на их проведение, что является совершенно непереносимым с учетом фиктивного характера выдаваемых результатов, а процесс создания рамных крепей нового технического уровня чрезмерно усложнен и запутан, что является очевидным тормозом технического перевооружения отрасли.

## **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Рамные крепи горных выработок (Обзорная информация и справочные материалы)/Составители: Сытник А.А., Зигель Ф.С., Компанец В.Ф., Поляковский В.С./.-Донецк: ДонУГИ. – 1992 – 35 с.
2. Грязнов В.С., Ефремов И.А., Петров В.В., Сугаренко Г.Г. Опыт применения крепей нового технического уровня // Уголь Украины. – 1999. – № 4.-с. 21-24.
3. Теньес Б., Фосс Х.В., Мельман В. Штрек с комбинированной крепью на шахте «Эвальд-Хуго» // Глюкауф. – 2001. – № 1/2 – с 28-35.
4. Якоби О. Практика управления горным давлением. – М.: Недра, 1987.-566 с.
5. Отраслевая инструкция по применению рамных и анкерных крепей в подготовительных выработках угольных и сланцевых шахт. – М.: ИГД им. А.А.Скочинского,1985. –145 с.
6. Литвинский Г.Г., Гайко Г.И., Кулдыркаев Н.И. Стальные рамные крепи горных выработок. – Київ : Техніка, 1999. – 214 с.
7. Шпрот Ф. Металлическое крепление подготовительных выработок. –М. Углетехиздат, 1958. –279 с.