Записки Ленинградского орденов Ленина и Трудового Красного Знамени горного института им. Г. В. Плеханова, т. XLII, вып. 1, 1960 г.

ЖЕЛЕЗОБЕТОННАЯ ШТАНГОВАЯ КРЕПЬ ДЛЯ СЛАБЫХ ПОРОД

В. М. Волжский

Среди многочисленных видов крепи, применяемых в горном деле, штанговая крепь по принципу действия, простоте конструкции, экономичности и универсальности занимает особое место и с каждым годом завоевывает все большее признание в мировой горной практике.

Кафедрой строительства горных предприятий Ленинградского горного института изучается штанговая крепь как средство борьбы с пучением подошвы горных выработок на шахтах Донбасса, Подмосковья и других бассейнов. Установлено, что штанговая крепь часто может предотвратить пучение или значительно уменьшить его интенсивность. Широко применяемые конструкции штанговой крепи для крепких и средней крепости пород совершенно не пригодны для укрепления слабых пород, так как не обеспечивают хорошего закрепления замков и имеют малую несущую способность. В зарубежной горной литературе [5] для укрепления слабых пород рекомендуются широко применяемые и дешевые железобетонные штанги. При опытной проверке этих рекомендаций оказалось, что не все конструкции железобетонных штанг эффективны в слабых породах, особенно в породах, теряющих механическую прочность при увлажнении. В результате изучения принципиальных особенностей известных конструкций железобетонных штанг и анализа схем их работы в конкретных горногеологических условиях были разработаны принципиально новые конструкции.

По конструкции и принципу работы железобетонные штанги можно разделить на несколько типов. Рассмотрим наиболее характерные особенности тех конструкций штанг, которые можно рекомендовать для укрепления слабых пород.

1. Железобетонные штанги постоянного диаметра, при установке которых цементный раствор заливается в скважину не под давлением. Такие штанги могут быть установлены только в нисходящих и наклонных вниз скважинах без опорных подкладок в неразмокающих породах (рис. 1, *а*) или с подкладками (рис. 1, *б*). Арматурой таких штанг служит один или несколько стержней. Значительное применение штанги этого типа получили при борьбе с пучением пород подошвы горных выработок. Длина штанг выбирается такой, чтобы скважина углублялась на 0,5—0,8 *м* в слои пород, которые практически уже не перемещаются. Часть штанги длиной l_1 располагается в породах расслаивающихся и перемещающихся. При твердении бетона тело штанги прочно скре-

няется со стенками скважины по всей длине и образуется зона породы в объеме конуса (с углом β при вершине и высотой l_1), непосредственно скрепленная с телом штанги. Другая часть штанги длиной l_2 связана с неподвижными слоями. Выдергивающее усилие от действия смещающихся слоев передается на неподвижные слои по поверхности конуса с углом при вершине α и высотой l_2.

Силы, удерживающие штангу в скважине, должны быть больше сил, выдергивающих ее. Если закрепление штанги хорошее, а силы, вызывающие расслоение пород, велики, то перемещающиеся породы могут оторваться от поверхности самой штанги или поверхности конуса с углом при вершине β. Это произошло, например, в 1956 г. на шахте «Бутовка-Донецкая» в 44-м восточном откаточном штреке. Породы

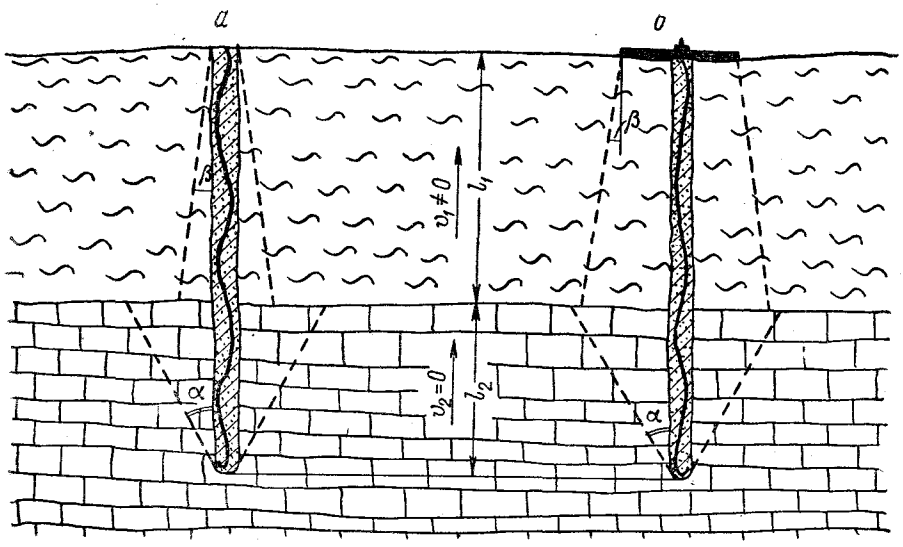


Рис. 1. Конструкция и схема работы железобетонных штанг постоянного диаметра

почвы на опытном участке были представлены слоистыми песчанистыми сланцами с тонкими пропластками слабого глинистого сланца. На глубине 1,2—1,3 *м* залегал крепкий песчаник. Железобетонные штанги длиной 1,5 *м* без опорных подкладок устанавливали в скважинах диаметром 42—44 *мм* по четыре в ряд с расстоянием между рядами 1 *м*. При приближении забоя лавы к опытному участку интенсивность пучения была меньше обычной. Однако, когда силы, вызывающие движение пород, превзошли силы сцепления и трения по поверхностям конусов с высотой l_1, перемещающиеся породы оторвались от штанг и скрепленной непосредственно с ними породы в объеме конусов. В результате породы подошвы поднялись, а штанги остались в первоначальном положении («утонули»).

Учтя этот случай, на втором опытном участке этой же выработки железобетонные штанги ставили с опорными подкладками. При этом непосредственно скрепленным со штангами оказался значительно больший объем неустойчивой породы (рис. 1, *б*). В результате на втором опытном участке пучение было практически предотвращено.

При опытах на шахте № 19—20 треста Советскуголь оказались недостаточными силы сцепления штанг с боковыми породами на участках длиной l_2. Вначале штанги воспринимали нагрузку, когда же она значительно возросла, штанги приподнялись вместе с опорными подкладками.

Неработоспособность железобетонных штанг рассматриваемой конструкции может быть вызвана: а) недостаточным сцеплением бетона с боками скважины в зоне l_1 и с арматурой;

б) недостаточной механической прочностью расслаивающихся пород по поверхности конуса с высотой l_1.

Может оказаться, что сцепление бетона штанги с боками скважины в зоне l_2 значительно меньше, чем в зоне l_1.

Силу сцепления бетона штанги с боками скважины можно подсчитать по формуле

$$F = a\pi dlR_{сц},$$

где a — коэффициент запаса, учитывающий наличие на боках скважины буровой муки и т. п.;

d — диаметр скважины, *см*;

l — длина скважины, *см*;

$R_{сц}$ — сцепление цемента с боковыми породами скважины, *кг/см²*

По данным опытных работ Джиоева Л. Н., $a = 2{,}5 \div 3{,}5$ [2]. В таблице приведены значения $R_{сц}$ для некоторых горных пород, полученные опытным путем Журавлевым В. Ф. и Штейертом Н. П. [4].

Таблица

Порода	Величина сцепления (длительность твердения образцов до испытаний 3 месяца), *кг/см²*	Характер разрушения
Мрамор	61,0	По контактному слою
Гематит	54,1	
Гранит	49,2	
Глинистый сланец	36,2	По цементному камню
Диабаз	27,0	
Известняк	36,5	
Туф	28,2	
Боксит	17,5	
Сталь литая	24,0	По контактному слою
Сталь прокатная	19,8	
Чугун	76,2	

Установка штанг рассматриваемого типа осуществляется довольно просто. В пробуренные и очищенные скважины заливают цементно-песчаный раствор и вводят арматуру. При установке штанг с опорными подкладками подкладки и гайки (если они имеются) надевают сразу, а затягивают гайки после твердения цементного раствора. Как показала практика, в обводненных скважинах из раствора вымываются наиболее крупные и тяжелые частицы выпадающие на дно скважины, оттесняя цемент вверх. Поэтому при установке железобетонных штанг в обводненных породах скважины необходимо осушать (например, сжатым воздухом), если это невозможно, то вводить цементный раствор с помощью специальной трубки, начиная заполнение скважины с нижней части.

Типичные условия применения крепи рассмотренной конструкции показаны на рис. 2. Штанги без опорных подкладок рационально использовать в тех случаях, когда расслоение или смещение пород вызывается деформацией неустойчивого слоя породы, заключенного между двумя

прослойками крепкой породы (рис. 2, *а, б*). Первый крепкий прослоек в этих условиях выполняет функцию опорных подкладок. Если он окажется слишком тонким, следует применять опорные подкладки. Штанги с опорными подкладками рационально применять в условиях, схематически показанных на рис. 2, *в, г*.

Применяя опорные подкладки, особое внимание надо обращать на надежность закрепления штанги в глубинной части (неподвижных породах). На схеме рис. 2, *в* штанги скрепляют породы скального типа, на схеме рис. 2, *г* — однородные породы, которые с течением времени расслаиваются и выветриваются на все большую глубину. Поскольку такие породы не обладают большой прочностью, глубина заделки штанг может быть значительной (до 4—5 *м* и более).

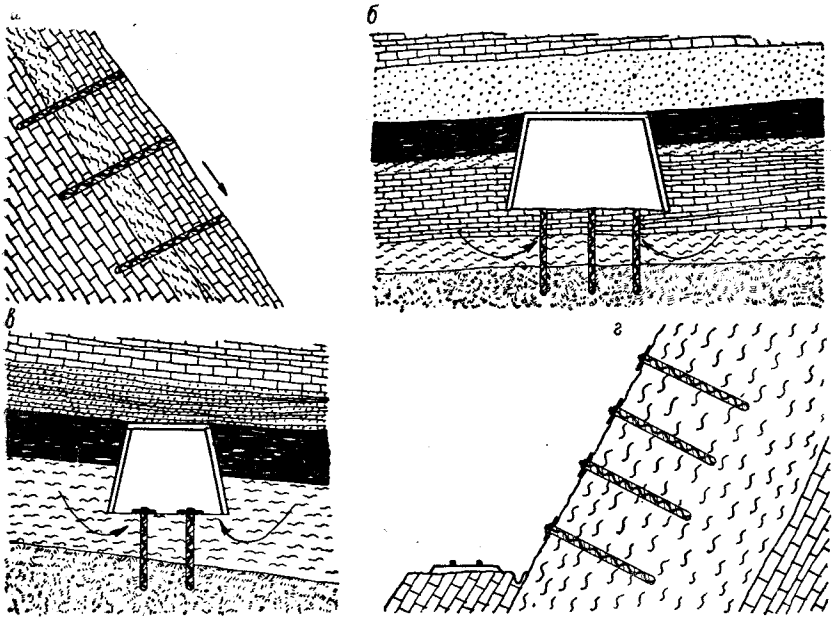


Рис. 2. Схемы применения железобетонных штанг постоянного диаметра

Условия эффективного применения штанг этого типа могут встретиться при строительстве шахт и рудников (подготовительные и капитальные выработки), автомобильных, железнодорожных и гидротехнических тоннелей, при разработке месторождений нерудных полезных ископаемых, при сооружении подпорных стен, укреплении откосов. Среди железобетонных штанг этот тип наиболее прост в конструктивном отношении, поэтому наиболее доступен для широкого использования.

2. Железобетонная штанговая крепь комбинированного типа. Арматура крепи этого типа состоит из штанг с обычными механическими клинощелевыми замками (рис. 3, *а*) или распорными (рис. 3, *б*). Замки увеличивают стоимость штанг, но обеспечивают возможность сразу после установки воспринимать нагрузку от расслаивающихся или перемещающихся пород. Для надежного закрепления таких штанг в крепких породах достаточно заглубление скважин на 20—40 *см*, что значительно меньше, чем требуется для штанг предыдущего типа.

Комбинированные железобетонные штанги были использованы для предотвращения пучения пород подошвы горных выработок на шахтах

Китая [1] и Донбасса. Известны случаи удачного применения такой крепи и для других целей.

Комбинированные штанги рациональны в тех случаях, когда они сразу после установки должны воспринять нагрузку или когда последующее увлажнение скважин может уменьшить несущую способность крепи или вызвать коррозию металла. Такие условия могут встретиться при строительстве шахт и рудников, при разработке месторождений полезных ископаемых, строительстве гидротехнических и других инженерных сооружений, при большом сроке службы штанговой крепи.

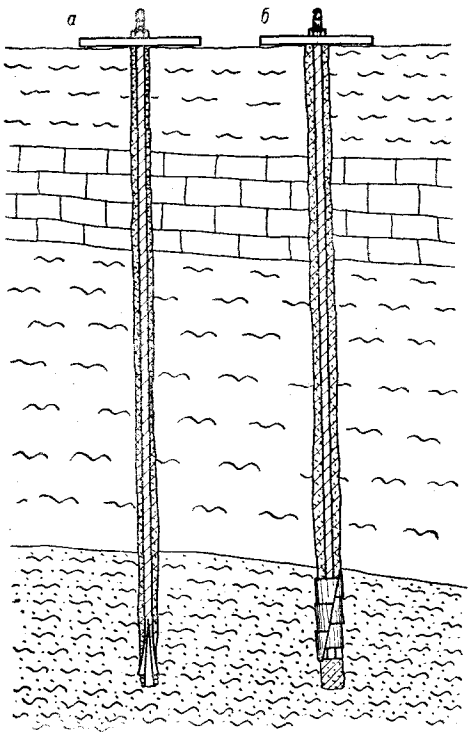


Рис. 3. Комбинированные железобетонные штанги

3. Железобетонная штанговая крепь с замковой частью увеличенного диаметра. Условимся называть замковой частью

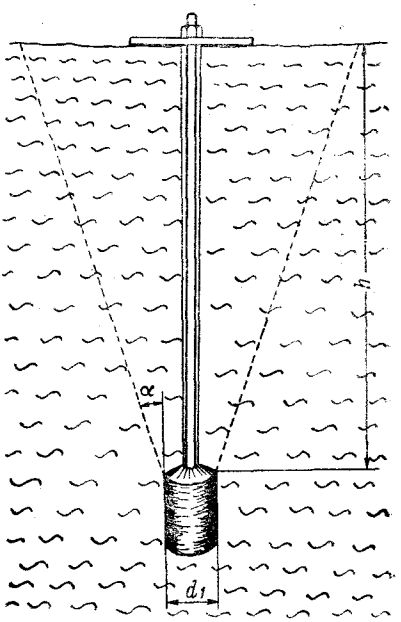


Рис. 4. Железобетонная штанга с замковой частью увеличенного диаметра

железобетонной штанги ту ее часть, которая передает выдергивающие усилия неподвижным породам, т. е. выполняет ту же функцию, что и замки металлических штанг. На рис. 1 замковая часть штанг расположена в зоне l_2.

Повысить несущую способность железобетонных штанг можно за счет увеличения глубины заделки и увеличения диаметра скважин или применения механического замка. Более эффективно и выгодно повышение несущей способности за счет увеличения диаметра замковой части (рис. 4). Штанги такой конструкции исследуют в условиях гидротехнического строительства [2, 3]. Несколько конструкций разработаны автором для крепления горных выработок. Благодаря увеличенному диаметру замковой части объем породы, на которую передается выдергивающее усилие, значительно больше, чем у рассмотренных ранее штанг. Не имеет решающего значения качество сцепления бетона замковой части штанги с боками скважины. Важны только качественное сцепление бетона с арматурой и механическая прочность замковой части

штанги в целом. Так как диаметр замковой части значительно больше диаметра остальной скважины, ослабление боков скважины при увлажнении практически не влияет на несущую способность штанги. Это повышает надежность закрепления в породах любой крепости, в том числе и слабых. Крепь такой конструкции целесообразно применять только с опорными подкладками, чтобы полностью реализовать большое сопротивление замка. Достаточно бетонировать лишь замковую часть скважины, так как сцепление бетона в остальной части практически не влияет на величину несущей способности штанги в целом.[1]

В отличие от остальных типов железобетонных штанг крепь этой конструкции обладает податливостью без потери несущей способности. Несущая способность штанг с замковой частью увеличенного диаметра может исчезнуть только при разрушении замковой части или ее арматуры. Если арматура и замковая часть обладают необходимым запасом прочности, то даже при значительных смещениях штанги относительно начального положения она не теряет несущей способности. Такая крепь в скальных породах работает как жесткая, а в породах более слабых (типа глинистых сланцев, глин и т. п.) — как податливая. На рис. 4 показана упрощенная схема работы такой крепи.

Сопротивление вырыванию (практически равное у этого типа штанг несущей способности) слагается из сопротивления сцепления по боковой поверхности конуса вырыва S_1, сопротивления внутреннего трения по той же поверхности S_2 и веса породы в объеме конуса вырыва S_3 (если штанга установлена в нисходящей скважине).

$$S = S_1 + S_2 + S_3.$$

Общее сопротивление для глинистых пород [5]

$$S = \frac{\pi\gamma h^2 \operatorname{tg}\alpha}{2}\left(d_1 + \frac{2}{3}h\operatorname{tg}\alpha\right)(\sin\alpha\operatorname{tg}\varphi + 1) + \\ + \frac{\pi d_1^2 h\gamma}{4} + \frac{\pi hc\,(d_1 + h\operatorname{tg}\alpha)}{\cos\alpha};$$

для скальных пород [2]

$$S = k\left[\pi hc\,(d_1 + h\operatorname{tg}\alpha) + \frac{\pi h^2\gamma\operatorname{tg}\varphi\sin^2\alpha}{2}\left(d_1 + \frac{2}{3}h\operatorname{tg}\alpha\right) + \right. \\ \left. + \frac{\pi d_1^2 h\gamma}{4} + \frac{\pi h^2\gamma}{2}\left(\frac{2}{3}h\operatorname{tg}\alpha + d_1\right)\sin\alpha\cos\alpha\right],$$

где h — глубина заделки замковой части штанги;
α — угол наклона образующей конуса к вертикальной оси;
d_1 — диаметр замковой части штанги;
k — коэффициент, зависящий от прочности пород;
φ — угол внутреннего трения;
γ — объемный вес породы;
c — коэффициент внутреннего сцепления породы.

Имея основные характеристики породы, по этим формулам можно определить величину заглубления и диаметр замковой части для получения требуемой несущей способности штанги. Механическая прочность самой штанги должна быть не менее величины сопротивления породы разрушению при выдергивании штанги заданных параметров.

[1] Под несущей способностью штанги понимается сила, равная сопротивлению штанги (или ее замка) при вытягивании из скважины.

Л. Н. Джиоев закреплял штанги в разных породах, изменяя диаметр замковой части от 20 до 50 *см*, глубину заделки — от 50 до 150 *см*. При таких параметрах несущая способность изменялась в пределах 7—38 *т* и более. Для сравнения в этих же условиях устанавливали штанги одинакового по всей длине диаметра с бетонированием всей скважины. Их сопротивление выдергиванию изменялось от 3 до 11 *т*. После отрыва тела штанги от боков скважины сопротивление выдергиванию прекращалось.

При нагружении штанги с замковой частью увеличенного диаметра (диаметр замковой части 20 *см*, глубина заделки 150 *см*, породы —

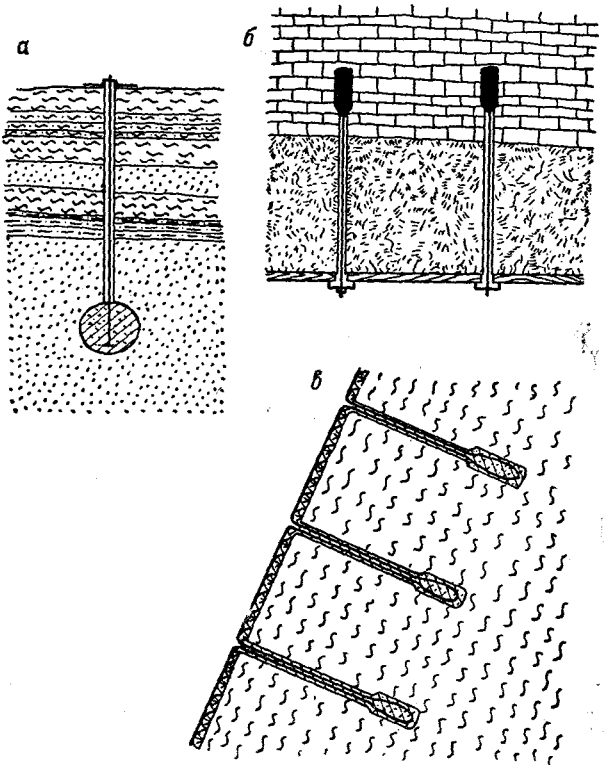


Рис. 5. Примеры конструкций железобетонных штанг с замковой частью увеличенного диаметра

толстослоистые песчаники прочностью 540—800 *кг/см²* и глинистые сланцы меньшей прочности) выдергивающее усилие в 30,18 *т* вызвало податливость штанги на 80 *мм*, затем несущая способность увеличилась до 38 *т*. Как выяснилось впоследствии, податливость штанги была вызвана смятием прослойка глинистого сланца толщиной 80 *мм* замковой частью штанги.

Конструктивное выполнение штанг рассматриваемого типа может быть различным и зависит от назначения и целей, преследуемых при установке крепи. На рис. 5 схематично показано несколько конструкций. Арматурой штанги (см. рис. 5, *а*) может быть стальной стержень, а для лучшего сцепления его с бетоном на конце закрепляется шайба (или гайка) по диаметру буровой скважины [2]. В качестве арматуры могут быть использованы стальные канаты (см. рис. 5, *в*). Крепь такой конструкции рационально применять для крепления неустойчивых

(склонных к сползанию, пучению и т. п.) пород лежачего бока при подземных и открытых разработках.

Конструкция, приведенная на рис. 5, *б*, может быть применена для крепления пород кровли, боков и почвы горных выработок. В отличие от показанных ранее, она позволяет при необходимости (например, в случае погашения выработки) извлекать тело штанги и повторно использовать наиболее металлоемкие детали крепи (арматурный стержень, опорные подкладки).

При установке рассматриваемой крепи существенен способ уширения замковой части скважины. Для этого можно рекомендовать несколько способов, эффективность которых зависит от конкретных условий. Если условия допускают взрывные работы, уширить скважины можно путем взрывания в них небольших зарядов ВВ.

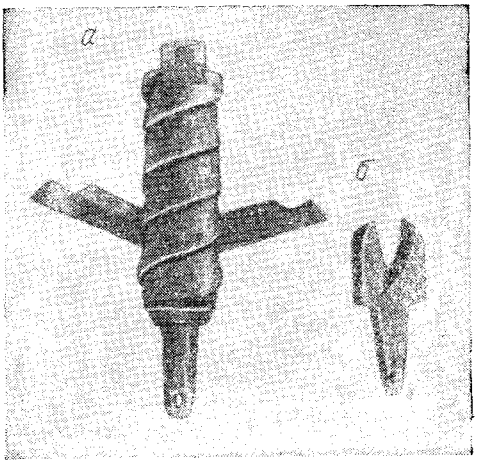


Рис. 6. Механический расширитель скважин:
а — коронка-расширитель; б — обычная коронка

В породах с коэффициентом крепости 6—10 по классификации М. М. Протодьяконова и менее крепких лучше пользоваться специальными коронками-расширителями (рис. 6). Они позволяют скважины диаметром 40—50 *мм* разбуривать вращательным способом в замковой части до диаметра 150—200 *мм*. При большем диаметре можно разбуривать замковую часть до 200—300 *мм*. Механические расширители обеспечивают образование уширений правильной формы и требуемых размеров, что важно для расчетов параметров крепи. Крепь такого типа может быть эффективно применена в случаях, когда необходима большая несущая способность штанг в слабых породах.

Существенный недостаток большинства конструкций железобетонных штанг заключается в том, что они не могут воспринимать нагрузку до затвердевания раствора. Но в настоящее время промышленностью освоен выпуск быстротвердеющих цементов, что в определенных условиях, например при борьбе с пучением, устраняет этот недостаток железобетонных штанг.

Таким образом, железобетонную штанговую крепь можно рекомендовать для крепления слабых пород, но с подбором соответствующих конструкций для конкретных горнотехнических условий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Горин А. И. Борьба с поддуванием подошвы горных выработок. «Шахтное строительство», 1957, № 9.
2. Джиоев Л. Н. Экспериментальные исследования анкерных креплений в скальных грунтах. «Гидротехническое строительство», 1958, № 6.
3. Джиоев Л. Н. Экспериментальные исследования анкерных креплений. Гидротехническое строительство, 1956, № 9.
4. Журавлев В. Ф. и Штейерт Н. П. Сцепление цементного камня с различными материалами. «Цемент», 1952, № 1.
5. Langecker F. Glückauf, 1952, v. 88, н. 45—46.