

Ориентирование клина-отклонителя в вертикальных скважинах для забуривания боковых стволов из обсадных колонн.

В.З.Скобло, А.Ю.Ропяной, А.И.Лухт.

ЗАО «НТ-КУРС»

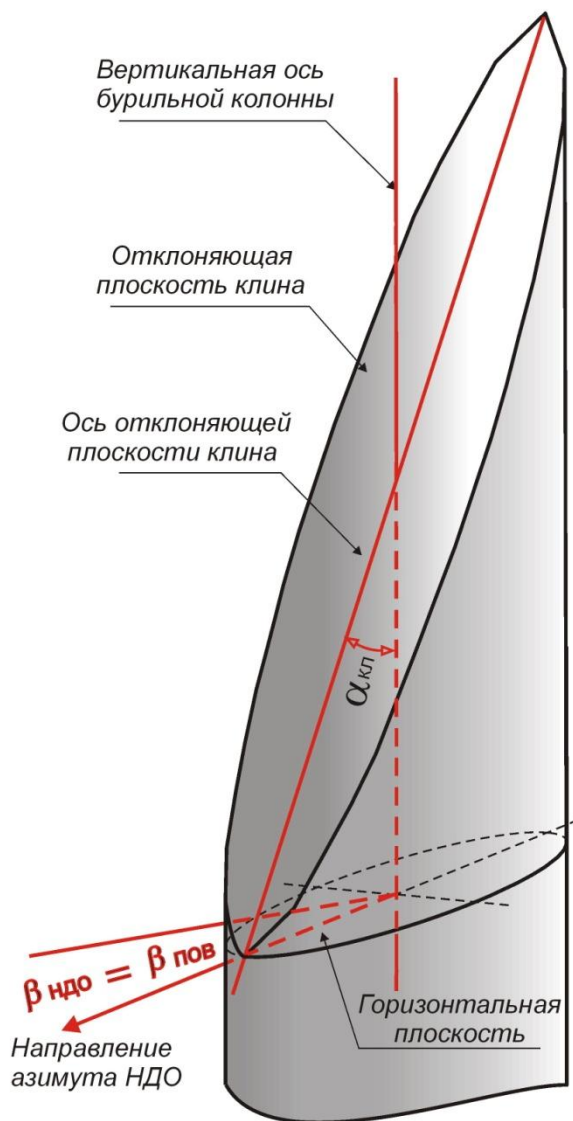
Один из методов повышения нефтеотдачи месторождений, получивший широкое распространение, это восстановление старого фонда скважин бурением боковых стволов из обсадных колонн. Его «привлекательность» во многом определяется простой и эффективной операцией «зарезки» бокового ствола, базирующейся на использовании клина-отклонителя. При правильной ориентации отклоняющей плоскости клина, перфорация «окна» в обсадной колонне и последующая «зарезка» бокового ствола будет производиться в проектом направлении. Именно это обстоятельство во многом определяет эффективность клина-отклонителя и его популярность у буровиков.

Поскольку в вертикальной скважине клин-отклонитель устанавливается внутри обсадной колонны, для его ориентации обычно используется гироскопический инклинометр. Здесь необходимо уточнить, что принятый в бурении и используемый далее термин «вертикальная скважина» применим к скважинам с углом наклона ствола менее 3-х градусов; ориентирование клина-отклонителя в таких скважинах производится только относительно сторон света. Опыт работы ЗАО «НТ-КУРС» по ориентированию клиньев-отклонителей гириноинклинометром «Гиросурсор» позволяет сделать однозначный вывод – часто наблюдаемое отклонение азимута «зарезанного» бокового ствола от проектного значения, хотя и находится в допустимых пределах, но значительно превышает погрешность гириноинклинометра. Вместе с тем, простота методики ориентирования клина и «прозрачность» этой операции для всестороннего контроля позволяет уверенно предположить, что неконтролируемое изменение азимута происходит не в процессе ориентирования, а на последующих этапах при неконтролируемом (т.е. в отсутствии измерительных средств) углублении ствола скважины. Поскольку ориентирование является всё же основополагающим этапом,

обеспечивающим «попадание» ствола скважины в заданное направление, выявление и всестороннее изучение дополнительных факторов, влияние которых может сказаться на результатах ориентирования, представляется важным и актуальным.

Одним из таких факторов является наклон ствола скважины в месте установки клина-отклонителя. Как уже отмечалось выше, если величина этого угла меньше 3-х градусов, скважина считается вертикальной и для всех таких скважин (уже независимо от конкретного значения угла наклона) используется единая методика ориентирования.

На Рис. 1 показан клин-отклонитель; ориентирование производится его поворотом относительно оси буровой колонны и установки



отклоняющей плоскости клина в нужном направлении, т.е. когда проекция оси отклоняющей плоскости на горизонтальную плоскость – направление действия отклонителя (НДО), устанавливается в требуемом (проектном) азимуте - β ндо.

Ориентирование производится при помощи гироинклинометра, спущенного в колонну буровых труб, и располагающегося непосредственно над клином-отклонителем в специальном «посадочном» переводнике, конструкция которого обеспечивает фиксацию гироинклинометра относительно клина-отклонителя, и их совместный поворот относительно оси буровой колонны.

Принцип действия гироинклинометра показан на

Рис.1
Клин-отклонитель

Рис. 2. Прибор измеряет горизонтальную составляющую угловой скорости вращения Земли – $\omega_{гор}$ при помощи двух датчиков со взаимно перпендикулярными осями чувствительности X и Y, расположенными в плоскости, перпендикулярной продольной оси гироскопа – оси Z.

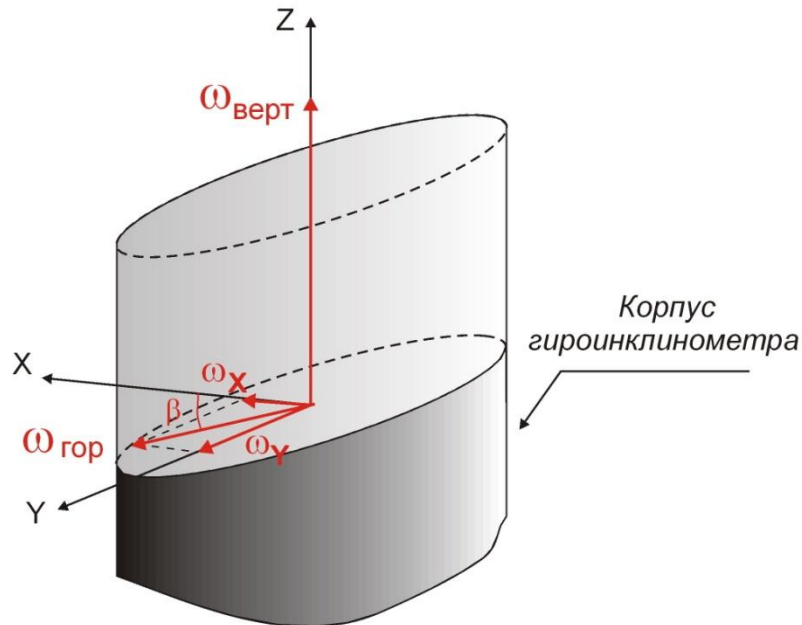


Рис.2
Измерительная схема
гироскопа

Если корпус гироскопа располагается в «посадочном» переводнике таким образом, что направление оси X совпадает с НДО, то угол β , измеренный гироскопом, будет соответствовать азимуту НДО:

$$\text{tg } \beta = \omega_y / \omega_x$$

(На практике, обычно ось X сдвинута относительно НДО на некоторый, заранее известный фиксированный угол, который складывается с результатом измерений для определения азимута НДО, однако, для дальнейших рассуждений это несущественно.)

Если ствол скважины в месте установки клина имеет небольшой наклон (в пределах до 3-х градусов), возможная ошибка измерения азимута НДО будет определяться двумя факторами:

- а) ошибка, связанная с дополнительной погрешностью измерительного устройства,
- б) ошибка, обусловленная тем, что угол поворота клина в наклонной скважине не совпадает с углом поворота НДО.

Оценим каждую из этих составляющих. Расчетная схема для определения ошибки измерения гироинклинометра, обусловленной наклоном скважины, показана на Рис. 3.

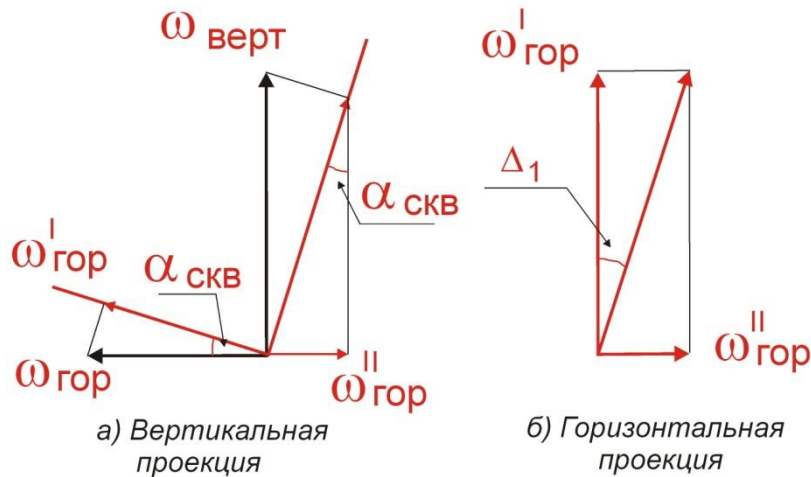


Рис.3 Расчет ошибки измерения

Плоскость осей чувствительности X и Y не горизонтальна и наклонена под углом $\alpha_{скв}$, равным углу наклона скважины. Горизонтальная составляющая, измеренная гироинклинометром $\omega^I_{гор}$, станет равной:

$$\omega^I_{гор} = \omega_{гор} \times \cos \alpha_{скв},$$

но поскольку величина $\alpha_{скв}$ мала, то $\cos \alpha_{скв} = 1$ и $\omega^I_{гор} = \omega_{гор}$.

Однако, из-за наклона вертикальной оси Z, на плоскость осей X и Y будет проектироваться вертикальная составляющая угловой скорости вращения Земли – $\omega_{верт}$, а величина её проекции составит:

$$\omega^{II}_{гор} = \omega_{верт} \times \sin \alpha_{скв}.$$

Ошибка измерения будет максимальной, если величина $\omega''_{гор}$ сдвинута относительно $\omega'_{гор}$ на 90° , как показано на Рис. 36.

$$\text{tg } \Delta_1 = (\omega_{\text{верт}} / \omega_{\text{гор}}) \times \text{Sin } \alpha_{\text{скв.}}$$

Учитывая, что $\text{tg } \Delta_1 = \Delta_1$, $\text{Sin } \alpha_{\text{скв}} = \alpha_{\text{скв}}$, $\omega_{\text{верт}} / \omega_{\text{гор}} = \text{tg } \theta$, где θ – широта географической координаты места установки клина-отклонителя, окончательно получим:

$$\Delta_1 = \text{tg } \theta \times \alpha_{\text{скв}} \quad \dots 1$$

Таким образом, при углах наклона скважины менее 3-х градусов, для месторождений, расположенных южнее Северного Полярного Круга ($\theta = 66,5^\circ$) максимальная ошибка ориентирования гироинклинометром из-за наклона ствола скважины не превысит 7° , что представляется допустимо малой величиной.

Вторая составляющая возможной ошибки ориентирования не связана с измерительным средством, а является исключительно методической. Расчетная схема для вычисления этой ошибки показана на Рис. 4, где $\alpha_{\text{скв}}$ – наклон ствола скважины (или оси бурильной колонны) в месте установки клина-отклонителя; $\alpha_{\text{кл}}$ – угол клина, см. также Рис. 1; $\alpha_{\text{накл}}$ – наклон оси отклоняющей плоскости клина.

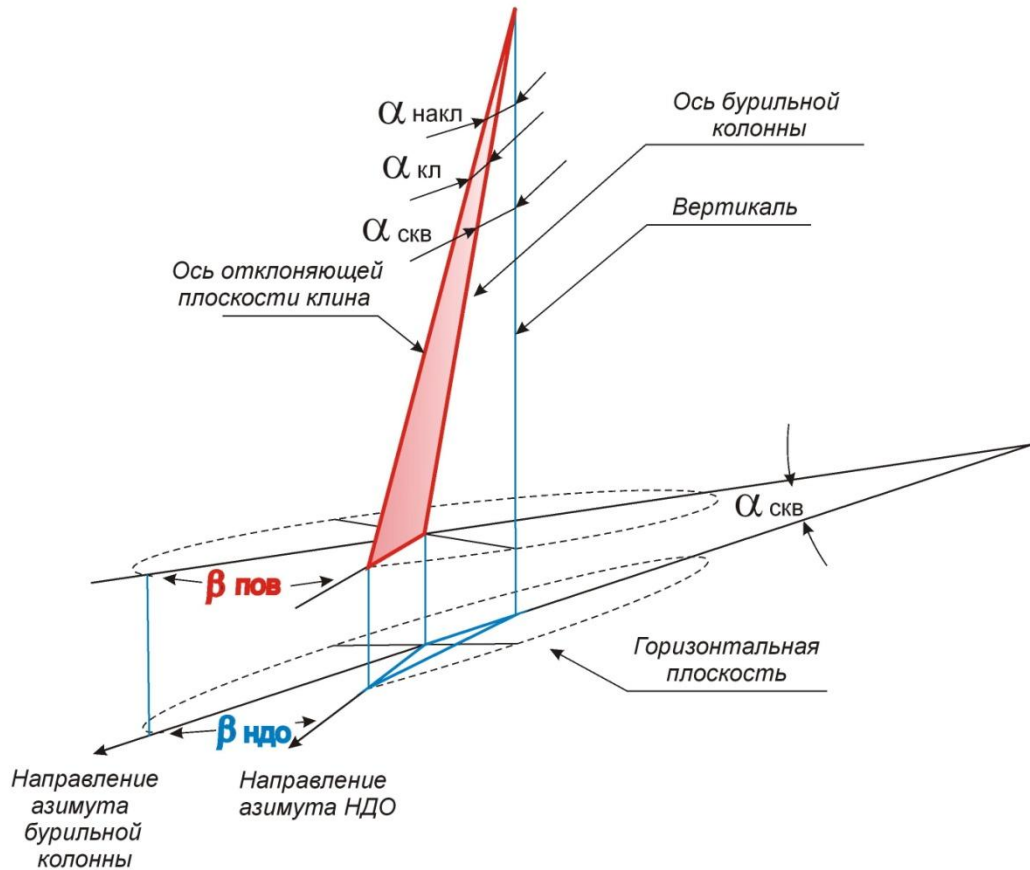


Рис.4 Расчетная схема клина-отклонителя

Как видно из рисунка, при повороте клина (буровой колонны) на угол $\beta_{пов}$, изменение азимута НДО клина составит угол $\beta_{НДО} \neq \beta_{пов}$; если скважина математически вертикальная, т.е. $\alpha_{скв} = 0$, (см. Рис. 1), то эти углы будут равны. В результате проведённых в соответствии с расчетной схемой Рис. 4 вычислений, была получена формула, связывающая угол поворота клина-отклонителя с изменением азимута НДО:

$$\text{tg } \beta_{НДО} = (1 / \text{Cos } \alpha_{скв}) \times [\text{Sin } \beta_{пов} / (\Delta + \text{Cos } \beta_{пов})] \quad \dots 2$$

$$\text{где } \Delta = \text{tg } \alpha_{скв} / \text{tg } \alpha_{кл}$$

Как и должно быть, при $\alpha_{скв} = 0$, т.е. когда скважина математически вертикальна, формула (2) вырождается в простое равенство:

$$\beta_{НДО} = \beta_{пов}$$

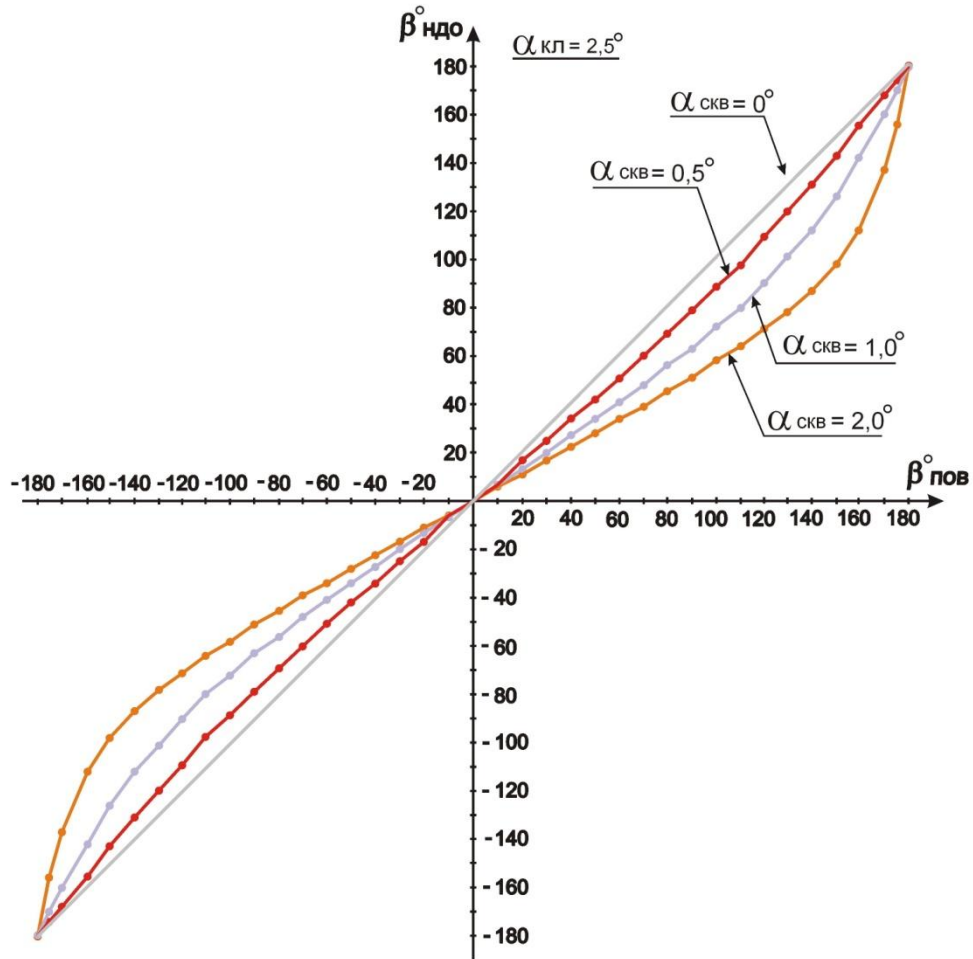


Рис.5

Изменение азимута НДО клина
в зависимости от его поворота

Следует обратить внимание, что в формуле (2) угол поворота клина – $\beta_{пов}$ и азимут НДО – $\beta_{НДО}$ отсчитываются от направления азимута буровой колонны.

Оценка возможных ошибок была произведена в соответствии с формулой (2) для клина с $\alpha_{кл} = 2,5^\circ$ в скважинах с различным наклоном - от вертикальной ($\alpha_{скв} = 0$), до $\alpha_{скв} = 2^\circ$. Результаты расчетов показаны на графиках Рис.5. Ошибка ориентирования, которая может оцениваться как

$$\Delta_2 = \beta_{пов} - \beta_{НДО}$$

достигает максимальных значений при углах поворота $100^\circ - 150^\circ$, причём, если при небольших углах наклона скважины – $(0,5^\circ - 1^\circ)$, её максимальное значение не превышает $(10^\circ - 15^\circ)$, то при угле наклона 2° ошибка будет составлять более 60° , что уже весьма существенно.

Например, необходимо забурить боковой ствол в проектном азимуте $\beta_{\text{НДО}} = 210^\circ$. Методика ориентирования заключается в том, чтобы поворачивая бурильную колонну с укреплённым на ней клином-отклонителем, в соответствии с показаниями гироинклинометра (с учётом имеющихся углов сдвига), установить значение – $\beta_{\text{НДО}} = 210^\circ$. Предположим, то же задание необходимо выполнить с тем же клином ($\alpha_{\text{кл}} = 2,5^\circ$) в слегка наклонной скважине, например, $\alpha_{\text{скв}} = 2,4^\circ$, азимут которой составляет, например, 60° . Выполняя те же самые действия, мы получим (в соответствии с формулой 2)

$$\beta_{\text{НДО}} = 130^\circ.$$

т.е. забуримся на 80° левее по азимуту.

Просто и наглядно ошибка Δ_2 описывается круговой диаграммой, представленной на Рис. 6, где величины $\beta_{\text{пов}}$ и $\beta_{\text{НДО}}$ с приемлемой точностью соответствуют формуле 2. Величина ошибки зависит от соотношения между $\alpha_{\text{скв}}$ и $\alpha_{\text{кл}}$. Если эти углы малы, то

$$(\alpha_{\text{скв}} / \alpha_{\text{кл}}) = \Delta$$

а скважина может считаться вертикальной, если $\Delta \ll 1$.

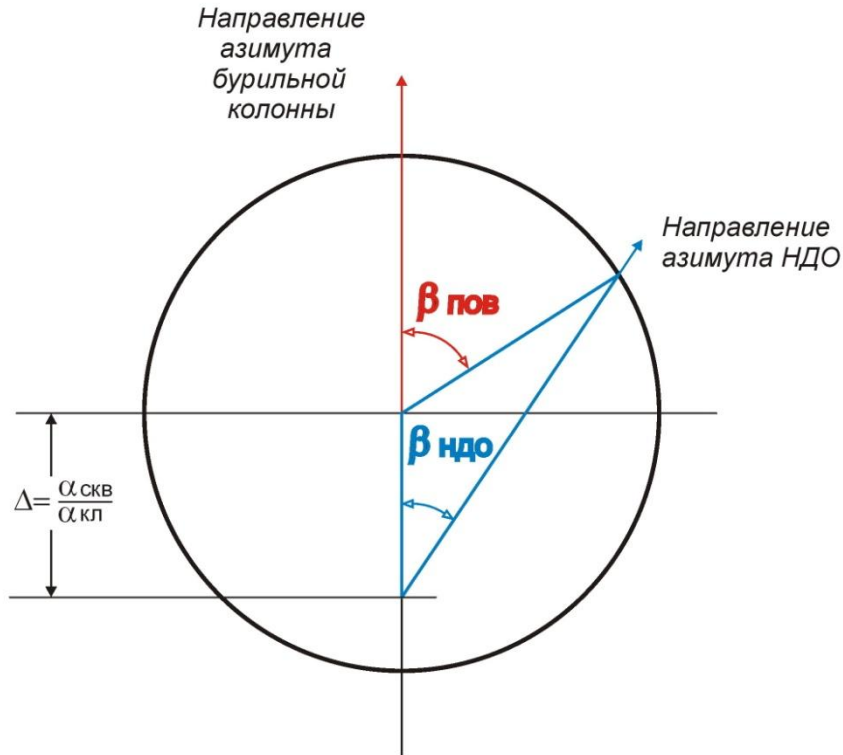


Рис.6 Круговая диаграмма

Для полноты картины необходимо отметить, что наклон скважины в месте установки клина-отклонителя, влияет не только на азимут и НДО, но и на угол наклона бокового ствола. Если считать, что НДО определяется углом $\alpha_{\text{накл}}$ – наклоном оси отклоняющей плоскости клина (см. Рис. 1), то в соответствии с расчётной схемой на Рис. 4, его зависимость от угла поворота в скважине, где $\alpha_{\text{скв}} \neq 0$ будет описываться формулой 3:

$$\sin^2 \alpha_{\text{накл}} = \cos^2 \alpha_{\text{кл}} \times [(\sin \alpha_{\text{скв}} + \operatorname{tg} \alpha_{\text{кл}} \times \cos \beta_{\text{пов}} \times \cos \alpha_{\text{скв}})^2 + (\operatorname{tg} \alpha_{\text{кл}} \times \sin \beta_{\text{пов}})^2] \quad \dots 3$$

Зависимость угла наклона клина – $\alpha_{\text{накл}}$ от угла поворота – $\beta_{\text{пов}}$ при различных наклонах скважины показана на графиках Рис. 7. Представляется важным тот факт, что угол наклона бокового ствола скважины в месте резки может быть весьма мал – например, при $\beta_{\text{пов}} > 150^\circ - 160^\circ$ и $\alpha_{\text{скв}} = 2^\circ$, угол наклона становится менее 1° . При

таких углах наклона скважина становится почти математически вертикальной и оценивать её азимут (или измерять его) на этом участке ствола весьма затруднительно.

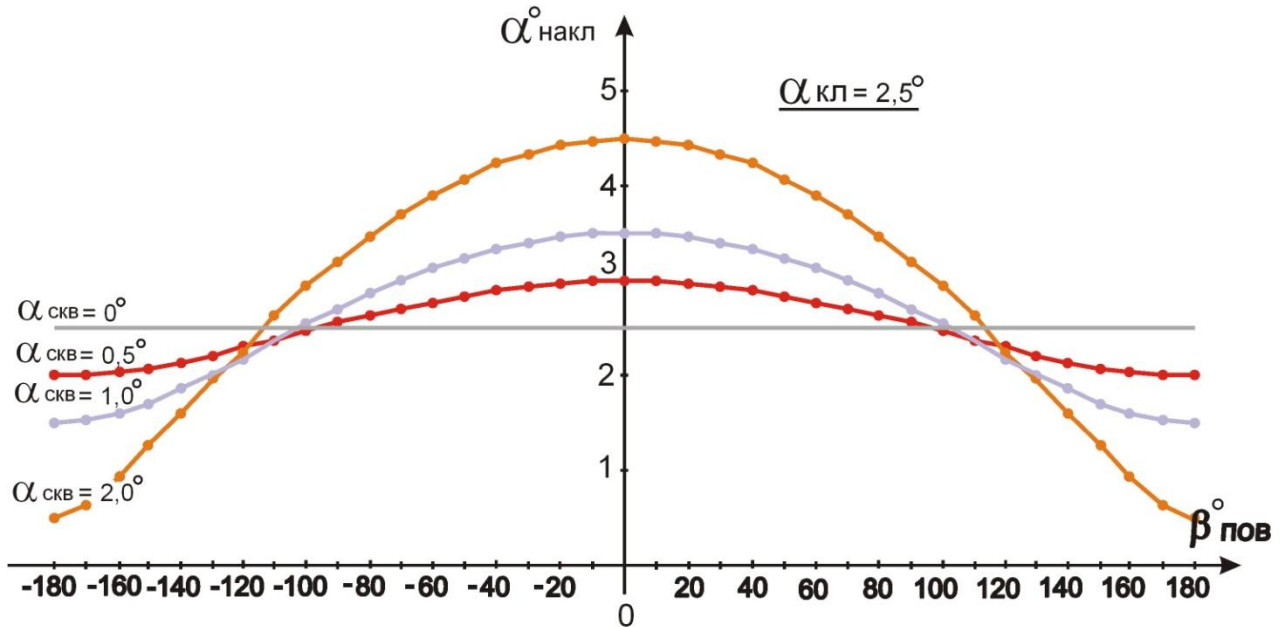


Рис.7
Изменение угла наклона клина
в зависимости от его поворота

Рассмотренные в настоящей статье особенности использования клина-отклонителя в скважине, которая хоть и называется вертикальной, но строго говоря таковой не является, поскольку имеет небольшой наклон, целесообразно учитывать как при проектировании бурения боковых стволов, так и при их зарезке с клина-отклонителя.