

DOI 10.21661/r-470032

Файзуллин Ринат Маликович**О ПРЕИМУЩЕСТВАХ ЦИФРОВОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА SIMOREG
6RA7088-6KS22 БУРОВОЙ ЛЕБЕДКИ**

Ключевые слова: буровые установки, глубокое бурение, сверхглубокое бурение, привод буровой лебедки, система автоматического управления, регулятор скорости.

В данной работе представлено описание технологического процесса бурения скважин с использованием системы автоматического регулирования цифрового электропривода буровой лебедки (Simoreg 6RA7088), который относится к главным приводам буровой установки. От производительности и экономичности привода буровой лебедки зависит производительность и экономичность всей буровой установки в целом. Автором убедительно выявлены и доказаны преимущества использования электропривода Simoreg 6RA7088–6KS22: увеличение долговечности и надёжности; уменьшение пусконаладочных и ремонтных работ; уменьшение числа обслуживающего персонала; увеличение производительности, а также экономическая эффективность от установки двигателя постоянного тока с управляемым микропроцессорным преобразователем Simoreg 6RA7088–6KS22, по сравнению с двигателем постоянного тока, управляемого тиристорным преобразователем напряжения типа КТУ-К14-УХЛ1.

Keywords: drilling rig, deep drilling, ultra-deep drilling, drive of drilling winch, automatic control system, speed controller.

The process of drilling wells using the automatic control system of the digital electric drive of the drilling winch (Simoreg 6RA7088), which belongs to the main drives of the drilling rig is considered in this paper. The productivity and efficiency of the drive of the drilling winch depends on the productivity and efficiency of the drilling rig as a whole. The author convincingly reveals and proves the advantages of using the electric drive Simoreg 6RA7088–6KS22: increase in durability and re-liability; reduction of commissioning and repair work; the decrease in the number of staff;

increased productivity and economic efficiency from the installation of a DC motor with controlled by microprocessor Converter Simoreg 6RA7088–6KS22, compared with the DC motor controlled by thyristor voltage Converter of the type KTU-K14-UHL1.

В создании основных производственных фондов в нефтяной и газовой промышленности определяющим является строительство и бурение скважин. Повышение технико-экономических показателей этого процесса обеспечивается улучшением использования календарного времени строительства скважин, увеличением скорости бурения и уменьшением материальных затрат, т. е., в конечном счете, повышением производительности труда и снижением стоимости метра проходки. На эти факторы, наряду с совершенствованием технологических процессов, улучшением качества и расширением ассортимента материалов, повышением уровня организации и культуры производства, существенное влияние оказывает технический уровень применяемого бурового оборудования. При создании буровых установок для глубокого и сверхглубокого бурения особое внимание уделяется повышению эффективности спуско-подъемного агрегата и снижению затрат на спуско-подъемные операции, наиболее длительные и трудоемкие в процессе бурения скважины. В рамках данной статьи хотелось бы остановиться на описании технологического процесса бурения скважин с использованием системы автоматического регулирования цифрового электропривода буровой лебедки (Simoreg 6RA7088). Привод буровой лебедки относится к главным приводам буровой установки, поэтому от производительности и экономичности привода буровой лебедки зависит производительность и экономичность всей буровой установки в целом.

*Описание системы автоматического управления
электроприводом буровой лебедки*

Повышение эффективности спуско-подъемного агрегата и снижению затрат на спуско-подъемные операции мы связываем с установкой цифрового электропривода Simoreg 6RA7088–6KS22. Оборудование фирмы Siemens внедрено в технологический процесс исходя из гибкости системы автоматического

регулирования (*CAP*) и возможности введения свободно программируемых элементов, необходимых для обеспечения технологических требований. Преобразователи серии 6RA70 SIMOREG DC MASTER являются полностью цифровыми компактными модулями с трёхфазным питанием предназначенные для питания якоря и обмотки возбуждения двигателей постоянного тока. Управляющим устройством (СИФУ) преобразователя SIMOREG является встроенный блок управления 6RA70, представляющий собой компактный модуль на основе отдельных элементов, благодаря чему обеспечивается максимально удобное обслуживание этого устройства.

Программирование

Программирование управляющего устройства SIMOREG DC MASTER может быть осуществлено двумя способами. Первый способ – это непосредственное параметрирование управляющего устройства. Все блоки SIMOREG DC MASTER снабжены простой панелью управления (PMU), закреплённой на дверце шкафа. Панель состоит из пятиразрядного, семисегментного индикатора, трёх светодиодов индикации состояния и трёх клавиш параметрирования. В процессе параметрирования определяются структура системы управления, её конкретный состав путём активации типовых регуляторов и задания их параметров. С помощью этой же панели оператором задаются все необходимые для запуска настройки, а также ведётся контроль параметров в процессе работы.

Параметрирование преобразователя можно также осуществлять через стандартный РС при использовании соответствующего программного обеспечения. В этом случае РС подключается к базовому блоку с помощью параллельного интерфейса. Этот интерфейс используется во время запуска, для сохранения параметров при выключении, а также для диагностики в процессе работы. Кроме перечисленных возможностей параллельный интерфейс позволяет загрузить обновлённое программное обеспечение для хранения во Flash памяти.

Вторым способом программирования управляющего устройства является объектное программирование. Для программирования таким способом фирмой SIEMENS разработан универсальный пакет STEP 7 с библиотеками языка SFC,

при помощи которого возможно программирование на языке высокого уровня. Преимущество такого способа программирования – в его наглядности. При таком способе программирования написание программы ведётся путём составления на рабочем поле необходимой структурной схемы системы управления. Для этого из библиотеки типовых элементов для установки на рабочем поле выбираются требуемые, задаются их параметры и между выбранными элементами организуются необходимые связи.

Система автоматического регулирования (*САР*) электропривода лебедки подчиненного типа и состоит из двух контуров регулирования якорной цепи и зависимого контура регулирования тока возбуждения. В данной работе хотелось бы более подробно представить

Контур регулирования тока и скорости цифровые и выполнены программным путем в цифровом приводе Simoreg 6RA7088–6KS22 фирмы SIEMENS. Задание структуры САР проводится путем настройки параметров привода. Также некоторая часть САР выполнена программным путем.

Simoreg 6RA7088–6KS22



Рис. 1

Задание скорости подъема или спуска поступает с выхода сельсинного командоаппарата (*СКА*).

С выхода КА сигнал поступает на схему ограничения сигнала задания. Система состоит из двух узлов – узла ограничения сигнала задания скорости подъема и узла ограничения скорости спуска. Необходимость в двух узлах ограничения скорости вытекает из природы момента созданного грузом. Ограничение сигнала задания однозначно ограничивает скорость подъема, т.к. при подъеме движущим моментом является момент двигателя

При спуске движущим моментом является момент, созданный грузом и поэтому величина ограничения должна быть пропорциональна величине груза.

Задачей узла ограничения скорости спуска является вычисление величины максимально допустимой скорости спуска в зависимости от величины груза:

$$W_{\max} = P_{\max} / M_c$$

где: P_{\max} – установка мощности, задаваемая при наладке, M_c – статический момент двигателя.

Максимальная скорость подъема будет обратно пропорциональна весу поднимаемой колонны.

Величина статического момента M_c вычисляется по сигналу датчика веса по формулам:

$$M_c = K_1 * \frac{Q}{i_{\text{пер.}}} \quad - \text{при подъеме}$$

$$M_c = K_2 * \frac{Q}{i_{\text{пер.}}} \quad - \text{при спуске}$$

где: Q -вес груза, измеренный по сигналу датчика веса; $i_{\text{пер.}}$ – передаточное отношение трансмиссии.

Ускорение разгона и спуска:

Если $W < W_n$, то

$$\varepsilon_p = \frac{2 * Mn - Mc}{J_{\Sigma}}$$

Если $W > W_n$, то

$$\varepsilon_p = (1.8 * \frac{Mn * w_n}{w_{\max}} - Mc) / J_{\Sigma} \quad \varepsilon_{\zeta} = (1.8 * \frac{Mn * w_n}{167.4} - Mc) / J_{\Sigma}$$

Для сигнала обратной связи по скорости используется сигнал, снимаемый с тахогенератора постоянного тока. Для вычисления пути талевого блока на подъемном валу лебедки установлен датчик импульсов *ДИ* типа POG-10DN10001. При вращении *ДИ* вырабатывает три последовательности импульсов в трех отдельных каналах.

По данным *ДИ* вычисляются:

- направление вращения;
- путь, пройденный талевым блоком и его местонахождение;
- сигналы для управления приводом лебедки в функции положения талевого блока.

По сигналам датчика импульсов *ДИ* вырабатываются сигналы на ограничение задания на скорость при:

- подъеме талевого блока выше 22,1 м относительно разъема ключа;
- спуске талевого блока, не доходя 2,6 м относительно разъема ключа.

Если сигнал заданной скорости спуска меньше вычисленного узлом ограничения, то он проходит дальше на вход задатчика интенсивности *ЗИ* без ограничения, если наоборот, то на вход *ЗИ* проходит сигнал, пропорциональный допустимой скорости спуска.

Таким образом, на один вход регулятора скорости поступает соответствующим образом обработанный сигнал задания с сельсинного командоаппарата, а на второй вход – противоположный по знаку сигнал обратной связи по скорости, снимаемый с тахогенератора, установленного на валу двигателя.

Выход регулятора скорости является заданием тока якоря.

На вход регулятора тока подается сигнал обратной связи по току. Он снимается с трансформаторов тока, установленных на силовом входе по переменному напряжению тиристорного преобразователя двигателя. Сигнал выпрямляется, фильтруется и подается на вход регулятора тока.

Выход регулятора тока является управляющим напряжением для системы импульсно-фазового управления (*СИФУ*) силового тиристорного преобразователя *ТП*.

Ограничение тока якорной цепи двигателя осуществляется ограничением выхода регулятора скорости (ограничением задания регулятора тока).

Контур возбуждения выполнен следующим образом: ослабление потока возбуждения производится за счет уменьшения верхнего ограничения регулятора тока возбуждения. Пока привод работает в первой зоне регулятор ЭДС находится на ограничении, и выход регулятора ЭДС держит верхнюю уставку регулятора тока возбуждения на таком уровне, что $I_b = I_{bn}$. Во второй зоне регулятор ЭДС сходит с ограничения и сигнал на его выходе начинает уменьшаться, зажимая уставку регулятора тока возбуждения. Поток уменьшается. Эта система сходна по принципу действия с системой с переключающимися обратными связями. Здесь также обратная связь в первой зоне замкнута по току возбуждения, а во второй зоне обратная связь замыкается по ЭДС.

При достижении ЭДС двигателя номинального значения РЭ сходит с ограничения и выходной сигнал регулятора ЭДС уменьшается, возвращая ЭДС двигателя на номинальный уровень.

В этих условиях (работа во 2-й зоне) увеличение задания на скорость вначале приводит к увеличению напряжения якоря и ЭДС двигателя, а затем РЭ возвращает ЭДС к прежнему уровню, снижая ток возбуждения.

При повороте рукоятки сельсинного командо-контроллера ВПЕРЕД от нулевого положения до половины максимального угла поворота напряжение на выходе силового тиристорного преобразователя растет соответственно от нуля до номинального значения, при этом поддерживается номинальное значение тока возбуждения.

При дальнейшем увеличении угла поворота рукоятки сельсинного командоаппарата происходит ослабление потока возбуждения двигателя.

Таким образом, производится регулирование скорости двигателей лебедки от нуля до максимальной.

Структура системы автоматического регулирования (САР) электропривода лебедки в режиме рекуперативного торможения та же, что и в режиме подъема.

Функциональная схема привода приведена на рис.2 Структурная схема привода приведена на рис. 3

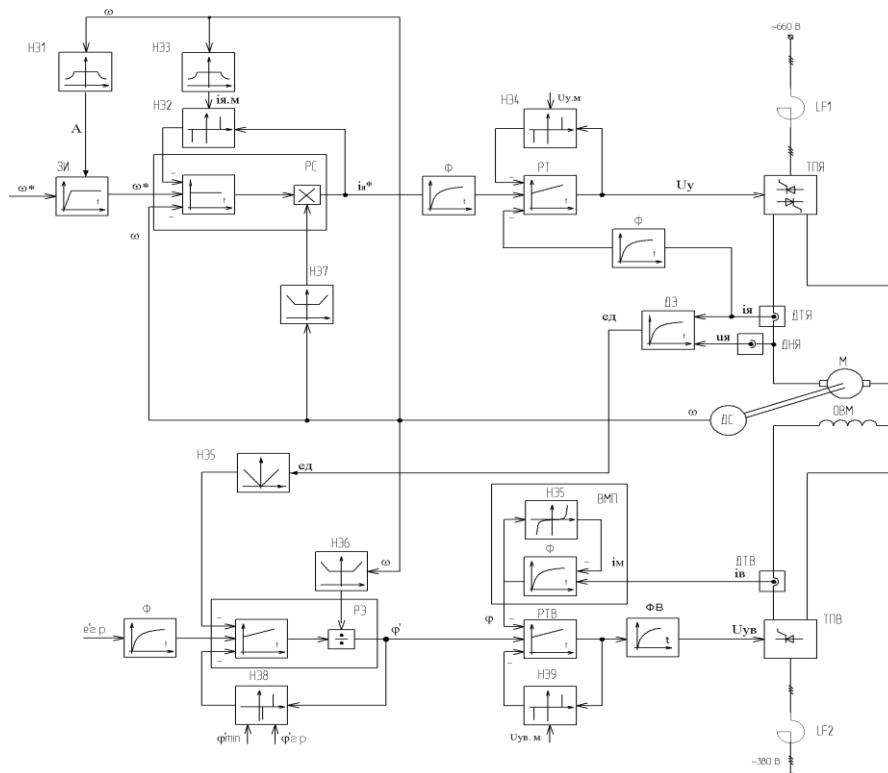


Рис. 2. Функциональная схема электропривода буровой лебедки

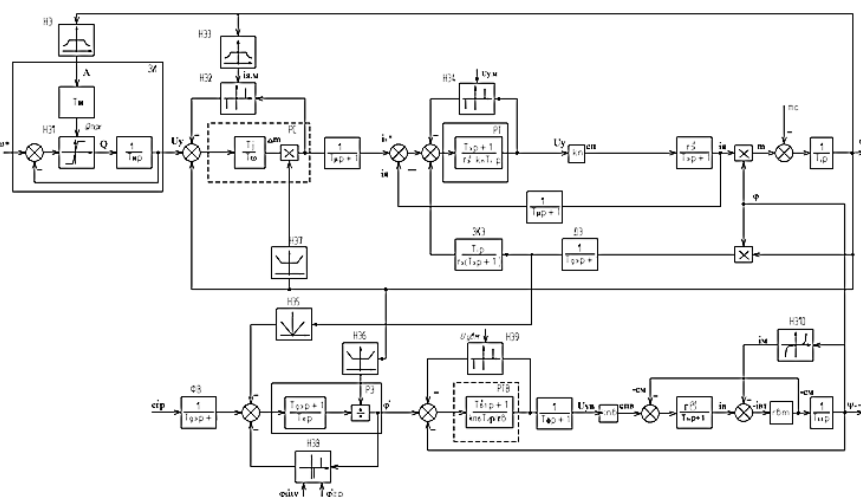


Рис. 3. Структурная схема электропривода буровой лебедки

Особенности буровой лебедки как объекта управления

Эффективность процесса бурения и качество строительства скважин во многом определяются возможностью оперативного управления режимом работы

и ориентирования забойного оборудования с целью поддержания оптимальных параметров режима бурения и проводки скважины по заданной траектории. У буровой лебедки существуют 2 режима работы: СПО (спуско-подъемные операции) и РПД (регулятор подачи долота). И в то время как режим СПО изучен и оптимизирован, для РПД существуют различные варианты регулирования.

Для обеспечения режима РПД, нужно поддерживать скорость подачи долота такой, чтобы одновременно учитывались несколько требований. Долото должно быть всегда в соприкосновении с грунтом с таким расчетом, чтобы происходил процесс бурения и в то же время, чтобы сам вес колонны труб не раздавил долото. Также надо следить за давлением промывочной жидкости, которая вымывает выработанную породу, иначе резко возросшее давление жидкости из-за провала долота в мягкий грунт выведет из строя насос.

Электропривод регулятора подачи долота

САР электропривода РПД должна обеспечить следующие режимы работы:

- а) подъем и спуск талевого блока с грузом с заданной скоростью;
- б) поддержание заданной нагрузки на долото при бурении.
- в) поддержание заданного давления в манифольде с ограничением нагрузки на долото.

Кроме того, должен быть обеспечен специальный режим при монтаже буровой установки для подъема и опускания вышки и для аварийного подъема буровых труб, в случае если основным приводом по какой-либо причине работать невозможно.

При разработке системы регулирования электроприводом РПД необходимо проработать различные варианты структурных схем САР.

1. На буровых установках наиболее часто применялась двухконтурная САР привода РПД с переключаемой структурой. При этом в режиме поддержания заданной скорости внешним контуром является регулятор скорости (напряжения), внутренним контуром является контур тока.

В режиме поддержания заданной нагрузки на долото внешним контуром становился контур регулятора натяжения в мертвом конце талевого каната и

внутренним контуром оставался контур регулятора тока в якорной цепи. На вход регулятора натяжения в качестве заданного значения нагрузки на долото подается сигнал равный сигналу снимаемого с датчика натяжения в мертвом конце талевого каната при так называемой процедуре взвешивания за вычетом сигнала пропорционального заданной нагрузке на долото. В качестве обратной связи на вход регулятора натяжения подается сигнал пропорциональный фактическому натяжению в мертвом конце талевого каната.

2. На буровых установках применяется также привод РПД с переключаемой структурой САР – двухконтурной в режиме поддержания заданной скорости и трехконтурной в режиме поддержания заданной нагрузки на долото. При этом в режиме поддержания нагрузки на долото внешним контуром является контур регулятора натяжения, подчиненным контуру натяжения является контур скорости и внутренним контуром является контур тока.

Указанные варианты не обеспечивают поддержания более высокого уровня точности таких параметров режима бурения, как осевая нагрузка на долото и расход промывочной жидкости, а также их согласованного регулирования.

Как показывают расчеты и практика бурения скважин, под действием реактивного момента происходит закручивание бурильной колонны, что затрудняет начальную установку заданного угла и тем более его поддержание в процессе бурения.

Реактивный крутящий момент зависит от осевой нагрузки на долото, создаваемой, как правило, преимущественно частью веса бурильной колонны.

Сравнительно небольшие изменения осевой нагрузки приводят к существенным изменениям угла закручивания колонны и, соответственно, положения.

Традиционный способ управления режимом бурения путем регулирования осевой нагрузки на долото подачей верхнего конца бурильной колонны по показаниям наземного индикатора веса при проводке наклонных и горизонтальных скважин не обеспечивает требуемой точности из-за влияния не поддающихся

детальному расчету переменных фрикционных сил, действующих на бурильную колонну.

С учетом вышеизложенного наиболее целесообразным при бурении следует считать комбинированный двухконтурный способ управления режимом проводки скважин путем регулирования скорости подачи бурильной колонны и расхода бурового раствора. В этом случае возможна организация управления осевой нагрузкой в широком диапазоне и с необходимой точностью:

- «грубо» – регулированием подачи верхнего конца бурильной колонны;
- «точно» – регулированием расхода промывочной жидкости. Однако реализация этого способа представляется затруднительной вследствие разомкнутости указанных двух контуров управления, т.к. при этом не обеспечивается их согласованность. В этой связи является перспективным создание систем согласованного управления основными агрегатами буровой установки.

Были разработаны принципиальная схема, алгоритмы и модель автоматизированной системы управления режимом работы и ориентирования забойного оборудования при бурении скважин. АСУ обеспечивает в соответствии с разработанным алгоритмом согласованное регулирование скорости подачи колонны труб и расхода промывочной жидкости с целью поддержания заданных параметров режима бурения.

Разработанная система работает следующим образом (рис. 4): с помощью пульта управления (ПУ) через микроконтроллер (МК) подачей колонны труб (КТ) буровой лебедкой (Б) устанавливается заданная режимом бурения нагрузка G на долото (Д). Установка может выполняться либо по гидравлическому индикатору веса (ГИВ), либо по датчику давления (ДД) на выходе промывочного насоса (ПН). Одновременно устанавливается заданный расход Q жидкости. После этого система переводится в автоматический режим.

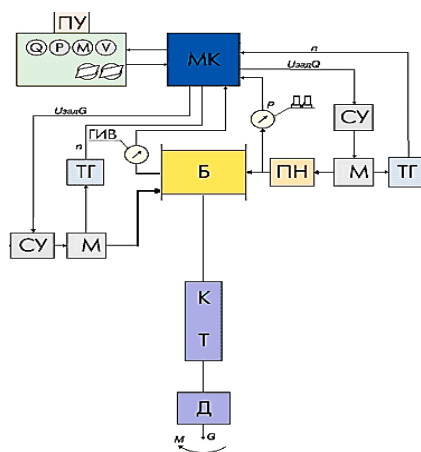


Рис. 4. Принципиальная схема АСУ

Для сравнения двух вариантов электропривода используем метод приведённых годовых затрат:

$$Z = E_{\text{норм}} \times K + C;$$

где: $E_{\text{норм}}$ – нормативный коэффициент эффективности капитальных затрат; $E_{\text{норм}} = 0,16$; K – первоначальные капитальные затраты, руб.; C – годовые расходы на эксплуатацию, руб.;

В данном случае:

$$K = K_{\text{ку}} + K_{\text{тм}};$$

где: $K_{\text{ку}}$ – стоимость комплектующих устройств, руб.; $K_{\text{тм}}$ – стоимость транспортировки и монтажа, руб.;

Примем $K_{\text{тм}} = 0,1 \times K_{\text{ку}}$, тогда

$$K = 1,1 K_{\text{ку}}$$

Годовые расходы на эксплуатацию:

$$C = C_{\text{w}} + C_{\text{a}} + C_{\text{то}}$$

где: C_{w} – стоимость электроэнергии, потребляемой за год работы электропривода, руб.; C_{a} – амортизационные отчисления, руб.; $C_{\text{то}}$ – отчисления на текущий ремонт и обслуживание, руб.

Примем $(C_{\text{a}} + C_{\text{то}}) = 0,1K$, тогда

$$C = C_{\text{w}} + 0,1K$$

Для расчёта необходимы данные $K_{\text{ку}}$, C_{w} .

Расчёты производятся при следующих значениях параметров, входящих в рассчитанные формулы:

– время работы в году T = (кол-во дней в году – время необходимое на плановое обслуживание) \times 8 часов = $(365 - 12) \times 8 = 2824$ часа;

– стоимость электроэнергии $\gamma = 1.88$ руб/кВт

Расчет вариантов

Произведём расчёт для обоих вариантов.

Вариант 1. ДПТ с управляемым микропроцессорным преобразователем Simoreg 6RA7088–6KS22.

Таблица 1

№ п/п	Наименование	Количество единиц	Стоимость, тыс. руб.		Потери электроэнергии, кВт
			един.	общая	
1	Simoreg 6RA7088–6KS22	1	495	495	789

Стоимость электроэнергии, потребляемой за год работы электропривода C_{w1}
 $789 \times 2824 \times 1,88 = 4188,9$ тыс. руб.

Вариант 2. ДПТ управляемый тиристорным преобразователем напряжения типа КТУ-К14-УХЛ1.

Таблица 2

№ п/п	Наименование	Количество единиц	Стоимость, тыс. руб.		Потери электроэнергии, кВт
			един.	общая	
1	КТУ-К14-УХЛ1	1	243	243	995

Стоимость электроэнергии, потребляемой за год работы электропривода C_{w1}
 $995 \times 2824 \times 1,88 = 5282,6$ тыс. руб.

Первоначальные капитальные затраты: $K_1 = 1,1 \cdot 495 = 544,5$ тыс. руб.

$$K_2 = 1,1 \cdot 243 = 267,3 \text{ тыс. руб.}$$

Годовые расходы на эксплуатацию: $C_1 = 4188,9 + 0,1 \cdot 495 = 4238,4$ тыс. руб.

$$C_2 = 5282,6 + 0,1 \cdot 243 = 5306,9 \text{ тыс. руб.}$$

Годовые затраты: $Z_1 = 544,5 \cdot 0,16 + 4238,4 = 4325,5$ тыс. руб.

$$Z_2 = 267,3 \cdot 0,16 + 5306,9 = 5349,6 \text{ тыс. руб.}$$

Годовая экономия

$$\Delta \mathcal{E} = C_2 - C_1 = 5306,9 - 4238,4 = 1068,5 \text{ руб. (5.6)}$$

Дополнительные капитальные вложения

$$\Delta K = K_1 - K_2 = 544,5 - 267,3 = 277 \text{ руб. (5.7)}$$

Срок окупаемости

$$T_{ок} = \Delta K / \Delta \mathcal{E} = 277 / 1068,5 = 0,26 \text{ г. (5.8)}$$

Срок окупаемости 3,1 месяца.

Сравнение экономических показателей

Экономические показатели сравнения стоимости двух вариантов приведены в таблице 3.

Экономические показатели стоимости двух вариантов

№ п/п	Наименование	Стоимость, тыс. руб.	
		Вариант 1 (проектируемый)	Вариант 2
1	2	3	4
1	Капитальные затраты на оборудование	544,5	267,3
2	Годовые эксплуатационные расходы.	4238,4	5306,9
	В том числе:	4188,9	5282,6
	2.1. Стоимость электроэнергии	49,5	24,3
	2.2. Амортизационные отчисления и затраты на ремонт		
3	Приведенные затраты	4325,5	5349,6

В современной промышленности имеет место тенденция к увеличению надёжности электропривода, которую в полной мере может обеспечить цифровой электропривод. В рамках данного исследования было выявлены и доказаны преимущества использования данного электропривода (Simoreg 6RA7088–6KS22): (увеличение долговечности и надёжности; уменьшение пусконаладочных и ремонтных работ; уменьшение числа обслуживающего персонала; увеличение производительности, а также экономическая эффективность от установки двигателя постоянного тока с управляемым микропроцессорным преобразователем Simoreg 6RA7088–6KS22, по сравнению с двигателем постоянного тока, управляемого тиристорным преобразователем напряжения типа КТУ-К14-УХЛ1.

Список литературы

1. Беркович М.Я. Технология бурения нефтяных и газовых скважин. – М.: Недра, 1969.
2. Моцохейн Б.И. Электропривод буровых лебедок / Б.И. Моцохейн, Б.М. Парфенов. – М.: Недра, 1978. – С. 304.
3. Радченко В.Н. Условия синхронного движения в переходных режимах элементов подъемной системы буровых установок (сборник научных трудов

«Проектирование и испытание буровых установок»). – Свердловск: Уралмаш, 1989.

4. Проектирование электроприводов: Справочник / А.М. Вейнгер, В.В. Караман, Ю.С. Тартаковский, В.П. Чудновский; под ред. А.М. Вейнгера. – Свердловск: Средне-Уральское книжное изд-во, 1980.

5. Файзуллин Р.М. Способы повышения эффективности бурового инструмента прорывные научные исследования: проблемы, закономерности, перспективы. – Пенза. – 2017. – 30 декабря. – С. 130–132.

6. Файзуллин Р.М. К вопросу о реализации функции автоматизированного восстановления сети. Лучшая научная статья 2017: Сборник статей XII Международного научно-практического конкурса. – Пенза: Наука и Просвещение (ИП Гуляев Г.Ю.), 2017.-

Файзуллин Ринат Маликович – аспирант ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет», Россия, Екатеринбург.
