

УДК 622.24

А.П. Вревкин, д.т.н., профессор, Уфимский государственный нефтяной технический университет;

В.Я. Соловьев, к.т.н., ООО «ТелекомСервисСтрой» (г. Самара); М.Г. Ахмадеев, к.т.н., доцент, Уфимский государственный нефтяной технический университет

## Взаимосвязь режимов работы нагнетательных и добывающих скважин

Одним из главных параметров, влияющих на безопасность работы электроцентробежных насосов (ЭЦН) добывающих скважин, является динамический уровень. Величина динамического уровня зависит от целого ряда параметров не только добывающих скважин, но и подсистем поддержания пластового давления (ППД). При расчете параметров закачки на основе компенсационного метода, т.е. исходя из интегральных объемов закачки и добычи, динамика процессов комплекса «система ППД – пласт – добывающая скважина» обычно во внимание не принимается.

В статье рассматривается влияние динамики взаимодействия нагнетательных и добывающих скважин на динамический уровень и, как следствие, на безопасность работы ЭЦН. Показано, что даже небольшие изменения параметров закачки способны сильно влиять на аварийность работы ЭЦН.

**Ключевые слова:** электроцентробежные насосы, система поддержания пластового давления, пласт, скважина, динамика, взаимодействие.

Одним из основных факторов, влияющих на процесс добычи нефти, является пластовое давление, которое, в свою очередь, зависит от объемов и давления закачиваемой жидкости.

При расчете параметров закачки часто используется компенсационный метод, когда интегральный объем закачки определяется через интегральный объем добычи. Регулирование закачки осуществляется системой поддержания пластового давления (ППД).

Достаточно распространено мнение, что в силу большой инерционности системы «система ППД – пласт – добывающая скважина» (далее – система) динамикой процессов взаимодействия элементов в этих системах можно пренебречь и влияние колебаний пластового давления на динамический уровень в скважинах сказывается незначительно. Анализ данных для одного из нефтедобывающих предприятий Западной Сибири (компании «ЛУКОЙЛ») пока-

зал, что это не всегда справедливо, по крайней мере для месторождений с горизонтально расположенными пластами.

На основе наблюдения за графиками работы нагнетательных скважин и количеством включений-выключений электроцентробежных насосов (ЭЦН) добывающих скважин было замечено, что количество аварийных отключений ЭЦН резко возросло не позднее чем через час после начала снижения давления на водораспределительной гребенке нагнетательных скважин и задолго до выравнивания пластового давления.

Механизм, объясняющий наблюдаемую картину, на наш взгляд, состоит в следующем.

В нормальном режиме при номинальном давлении  $P_{\text{ппд}}$  на выходе системы ППД и правильно подобранной производительности ЭЦН в пласте устанавливается некоторый статический режим, при

котором динамический уровень  $H_{\text{дин}}$  поддерживается на значении, достаточном для нормальной работы ЭЦН.

### НА СИСТЕМУ МОГУТ ДЕЙСТВОВАТЬ РАЗЛИЧНЫЕ ВОЗМУЩЕНИЯ:

1) со стороны системы ППД при включениях-отключениях насосов нагнетательных скважин может изменяться пластовое давление и, соответственно, давление в призабойной зоне;

2) при включении-отключении добывающих скважин, забои которых расположены в зонах взаимного влияния, может изменяться пластовое давление и, соответственно, давление в призабойной зоне;

3) при изменении производительности  $Q_{\text{отв}}$  ЭЦН в силу разных причин, например из-за изменения параметров питающего напряжения, будет изменяться динамический уровень.

Во всех перечисленных случаях начнет изменяться давление на забое  $P_{\text{заб}}$ . Это

РОССИЙСКИЙ  
РАЗРАБОТЧИК  
И ПРОИЗВОДИТЕЛЬ  
противокоррозионных  
и огнезащитных  
лакокрасочных  
материалов  
марки Акрус®,  
специального  
и промышленного  
назначения.



Мы производим  
только защитные покрытия.  
Это позволяет нам  
концентрироваться  
на особенностях  
их изготовления  
и потребления.

**ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ:**

- ▶ Нефтехимическая индустрия
- ▶ Нефтегазодобывающая промышленность
- ▶ Судостроение
- ▶ Машиностроение
- ▶ Мостостроение
- ▶ Гражданское строительство
- ▶ Огнезащитные покрытия



www.akrus.pf  
www.akrus-akz.ru  
info@akrus-akz.ru  
117420, г. Москва,  
ул. Намёткина, д. 10Б  
тел./факс: +7(495) 363 5669

приведет к изменению притока жидкости  $Q_{пр}$  из пласта за счет изменения депрессии и давления в призабойной зоне  $P_{прзб}$ . Возникновение разбаланса  $\Delta Q$  притока и отбора при работающем с постоянной производительностью ЭЦН приведет к изменению динамического уровня, что, в свою очередь, изменит гидростатическое давление  $P_{дин}$  и давление на забое и т.д. Структурная схема взаимодействия элементов системы «система ППД – пласт – добывающая скважина» приведена на рисунке.

Динамику пласта можно представить передаточной функцией инерционного звена первого порядка:

$$W1(s) = \frac{P_{прзб}(s)}{P_{плд}(s)} = \frac{K1}{T1s + 1}$$

где K1 – коэффициент передачи изменения давления Рппд на водораспределительной гребенке в установившемся режиме на изменение давления в призабойной зоне, T1 – постоянная времени пласта, час.

Динамика призабойной зоны также может быть описана передаточной функцией инерционного звена первого порядка:

$$W2(s) = \frac{Q_{пр}(s)}{P_{зab}(s)} = \frac{K2}{T2s + 1}$$

где K2 – коэффициент передачи изменения величины притока жидкости в статике на изменение давления на забое, T2 – постоянная времени призабойной зоны, час.

Динамика связи динамического уровня и изменения расходов откачиваемой жидкости описывается в виде интегрирующего звена с передаточной функцией:

$$W3(s) = \frac{H_{дин}(s)}{\Delta Q(s)} = \frac{K3}{S}$$

где K3 – коэффициент усиления интегратора.

Изменение динамического уровня и давления на забое связаны через уравнение гидростатики:

$$K4 = \frac{\Delta P_{зab}(s)}{\Delta H_{дин}(s)} = \rho_{ж} \cdot g,$$

где  $\rho_{ж}$  – плотность жидкости, кг/м<sup>3</sup>, g – ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>.

Интерес представляет динамика системы по каналу  $P_{прзб} \rightarrow H_{дин}$ , поскольку аварийные остановки ЭЦН происходят из-за недостаточно высокого уровня жидкости в добывающих скважинах. Для оценки вида процессов примем, что параметры модели на рисунке имеют значения:

T2 = 3 ÷ 30 часов,  $Q_{пр} = 4 \div 25$  т/ч,  $\Delta P_{зab} = 0,5 \div 1,5$  МПа = 5 ÷ 15 ат.,  $H_{дин} = 50 \div 300$ , м. При этом для указанных диапазонов усредненные параметры передаточных функций будут иметь значения:

K2 = 0,4, т/ч·ат., K3 = 15, м/т, K4 = 0,1, ат./м.

Записав эквивалентную передаточную функцию для канала  $P_{прзб} \rightarrow H_{дин}$  получим:

$$\Phi_{эkv}(s) = \frac{\Delta H_{дин}(s)}{\Delta P_{прзб}(s)} = \frac{1/K4}{\frac{T2}{K2 \cdot K3 \cdot K4} S^2 + \frac{1}{K2 \cdot K3 \cdot K4} S + 1}$$

Несложно показать, что в зависимости от величины T2 динамика системы описывается передаточной функцией

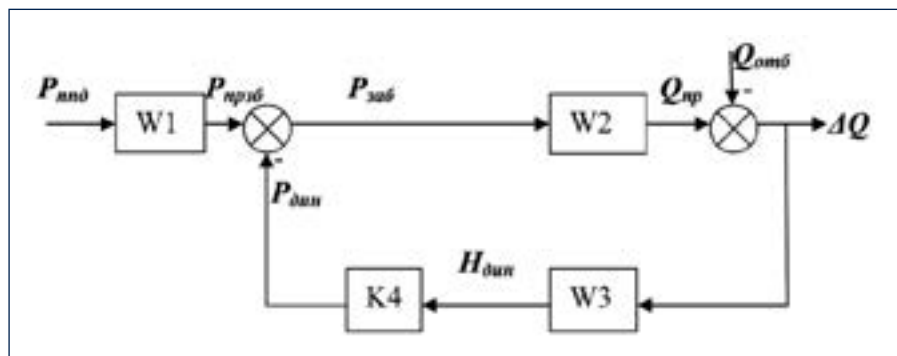


Рис. Структурная схема взаимодействия элементов системы «система ППД – пласт – добывающая скважина»

колебательного звена. Например, при  $T_2 = 3$  ч. коэффициент демпфирования будет иметь значение  $\xi = 0,372$ . При  $T_2 = 30$  ч.  $\xi = 0,136$ .

При изменении призабойного давления на 1 атм. размах изменения динамического уровня при значении  $\xi = 0,136$  может достигать 10÷15 м. Поэтому на скважинах, где поддерживается минимально допустимый динамический уровень, даже небольших изменений пластового давления

будет достаточно, чтобы произошел аварийный останов ЭЦН.

### Выводы:

1. Для уменьшения числа аварийных остановов ЭЦН следует вносить минимально возможные по интенсивности возмущения в системе ППД либо поддерживать динамический уровень с запасом порядка 100–150 м.
2. Для устранения влияния колебательных процессов в системе «система

ППД – пласт – добывающая скважина» принципиальным решением является использование автоматических систем поддержания динамического уровня. Такие системы могут быть построены, если имеется техническая возможность оперативной оценки динамического уровня (например, за счет использования датчика давления на забое) и регулирования величины подачи ЭЦН (например, за счет использования частотно-регулируемого привода).

UDC 622.24

**A.P. Verevkin**, Professor, Ufa State Oil Technical University; **V.Ya. Solovyov**, Ph.D., TelekomServisStroy LLC, Samara; **M.G. Akhmadeev**, Ph.D., Associate Professor, Ufa State Oil Technical University

### The dynamic connection of the reservoir pressure maintenance systems and production wells

*One of the main parameters that affect the safety of electric submersible pumps (ESP) wells, is the dynamic level. The magnitude of the dynamic level depends on a number of parameters not only producing wells, but also subsystems maintain reservoir pressure (PAP). When the PAP parameters calculated on the basis of the compensation method, ie based on the integral injection and production volumes, the dynamic of complex «system PAP – layer – production well» is usually not taken into account. The article examines the impact of the interaction dynamics injection and production wells on the dynamic level, and as a consequence, the safety of the ESP. It is shown that even small changes in injection parameters can strongly influence the accident ESP operation.*

**Keywords:** electric submersible pumps, system maintain reservoir pressure, layer, production well, dynamic, interaction.



INTERNATIONAL  
ASSOCIATION OF  
FOUNDATION  
CONTRACTORS

МЕЖДУНАРОДНАЯ АССОЦИАЦИЯ  
ФУНДАМЕНТОСТРОИТЕЛЕЙ

16-17 октября  
**2014**  
Москва

Международная научно-практическая конференция

# ТЕХНОЛОГИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И СТРОИТЕЛЬСТВА ФУНДАМЕНТОВ НА ВЕЧНОМЕРЗЛЫХ ГРУНТАХ

[info@fc-union.com](mailto:info@fc-union.com)  
[www.fc-union.com](http://www.fc-union.com)

125362, Москва, Водников 2, офис 25  
тел./факс: +7(495)66-55-014  
моб. +7-916-36-857-36, +7-925-86-101-81