

МЕТОДИКА ВЫБОРА РАЦИОНАЛЬНЫХ СХЕМ КОМПЛЕКСНОГО ОБУСТРОЙСТВА МОРСКИХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Вольгемут Э.А., Корниенко О.А., Мирзоев Д.А., Никитин П.П.

ООО «ВНИИГАЗ»

Статья посвящена задаче комплексного освоения морских месторождений, заключающейся в вовлечении в разработку «месторождений-спутников», обеспечивающих компенсацию падения добычи крупного базового месторождения в интервале от начала периода падающей добычи и до конца его разработки. Приведена методика определения очередности ввода в разработку «месторождений-спутников» и уровней добычи с этих месторождений, включая методику определения целевой функции.

Схемы обустройства крупного газового или газоконденсатного месторождения, параметры и стоимость объектов в значительной мере зависят от максимального уровня добычи Q_m , на который должны быть рассчитаны мощности технологических линий и установок морских платформ, параметры трубопроводов и т.п. С увеличением Q_m естественным образом сокращается период постоянной добычи, после чего по мере уменьшения уровня добычи начинает уменьшаться коэффициент использования технологического оборудования, что приводит к снижению эффективности капиталовложений.

Единственным способом продлить так называемую «полку» и избежать соответствующего снижения коэффициента использования мощностей технологического оборудования является вовлечение в разработку «месторождений-спутников», расположенных на относительно близких расстояниях от крупного базового месторождения, по мере падения объема добываемой продукции с базового месторождения. Для этого необходимо осуществить комплексное обустройство группы этих месторождений, причем таким образом, чтобы обеспечить максимум эффективности освоения этого комплекса.

На рис. 1 приведена схема такого комплекса, состоящего из крупного базового месторождения и «месторождений-спутников». Применительно к комплексному освоению показанных на рис. 1 месторождений основную задачу можно сформулировать следующим образом.

Пусть динамика добычи некоторого базового месторождения определяется кривой, приведенной на рис. 2. Пусть имеются n «месторождений-спутников», изображенные на рис. 1, с запасами $R_1, R_2, \dots, R_i, \dots, R_n$ и расстояниями l_1, l_2, \dots, l_n до базового месторождения. Требуется определить оптимальную схему комплексного обустройства всех этих месторождений, исходя из максимума эффективности, под которой будем понимать чистый дисконтированный доход (ЧДД).

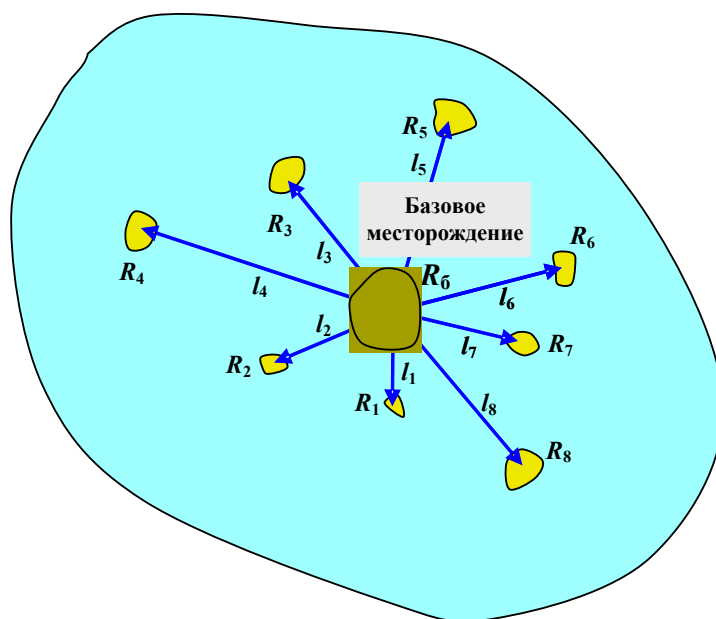


Рисунок 1. Базовое месторождение и «месторождения-спутники»

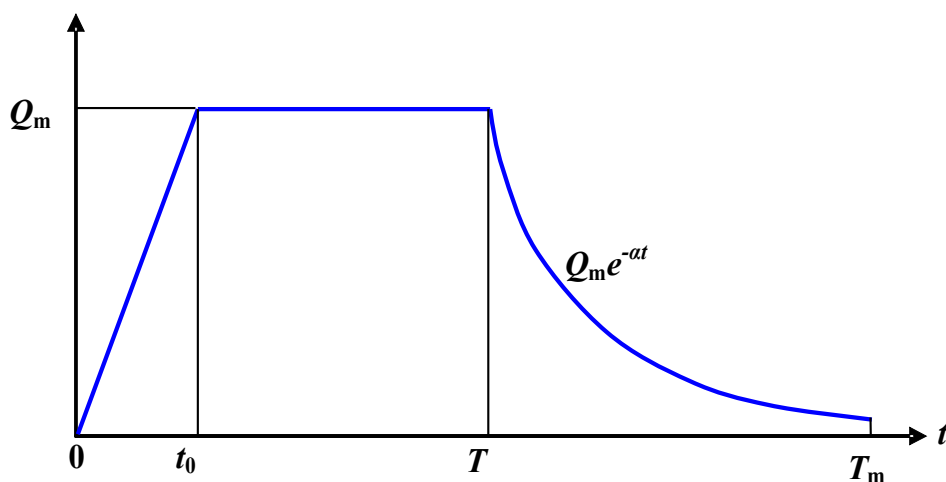


Рисунок 2. - Динамика добычи базового месторождения

Сформулируем некоторые допущения к данной задаче перед тем, как перейти к ее математической формулировке:

1. Начальные запасы базового месторождения значительно больше, чем запасы каждого из «месторождений-спутников»;

2. Период падающей добычи базового месторождения начинается с момента T , при котором устьевое давление достигает минимально допустимого значения $P_{y \min}$ с точки зрения нормальной работы технологического оборудования для подготовки газа к транспорту. Очевидно, что чем меньше $P_{y \min}$, тем больше значение T . Тогда:

$$\int_0^T Q(t) dt = \gamma R_{\text{б}}, \quad (1)$$

где:

$Q(t)$ – текущее значение добычи газа, м³/сут.;

$R_{\text{б}}$ – запасы газа базового месторождения, м³;

γ – коэффициент, зависящий от $P_{y \min}$.

Примем, что зависимость $Q(t)$ в интервале $0 < t < t_0$ является линейной функцией времени, тогда с учетом (1) будем иметь:

$$\frac{Q_m t_0}{2} + Q_m (T - t_0) = \gamma R_{\text{б}} \quad (2)$$

Из рис. 2 следует, что

$$\int_T^{\infty} Q(t) dt = \int_T^{\infty} Q_m e^{-\alpha(t-T)} dt = (1 - \gamma) R_{\text{б}} \quad (3)$$

Интегрируя (3), получим:

$$\alpha = \frac{Q_m}{(1 - \gamma) R_{\text{б}}} \quad (4)$$

Основной задачей комплексного обустройства является поддержание максимального уровня добычи базового месторождения (Q_m) на участке падающей добычи (см. рис. 2). В этом случае суммарная динамика добычи «месторождений-спутников» будет определяться как (см. рис. 3):

$$Q_c(t) = Q_m \left(1 - e^{-\alpha t} \right), \quad (5)$$

где α определяется согласно (4).

Область определения динамики (5) должна лежать в интервале $0 \div T_m$, так как срок разработки базового месторождения ограничивается некоторой величиной T_m , исходя из срока службы основного технологического оборудования и технико-экономической целесообразности дальнейшей разработки месторождения. За пределами этого периода должна решаться другая задача, связанная либо с заменой основного оборудования базового месторождения, либо с дальнейшей разработкой «месторождений-спутников» как самостоятельных объектов, что выходит за рамки настоящей работы.

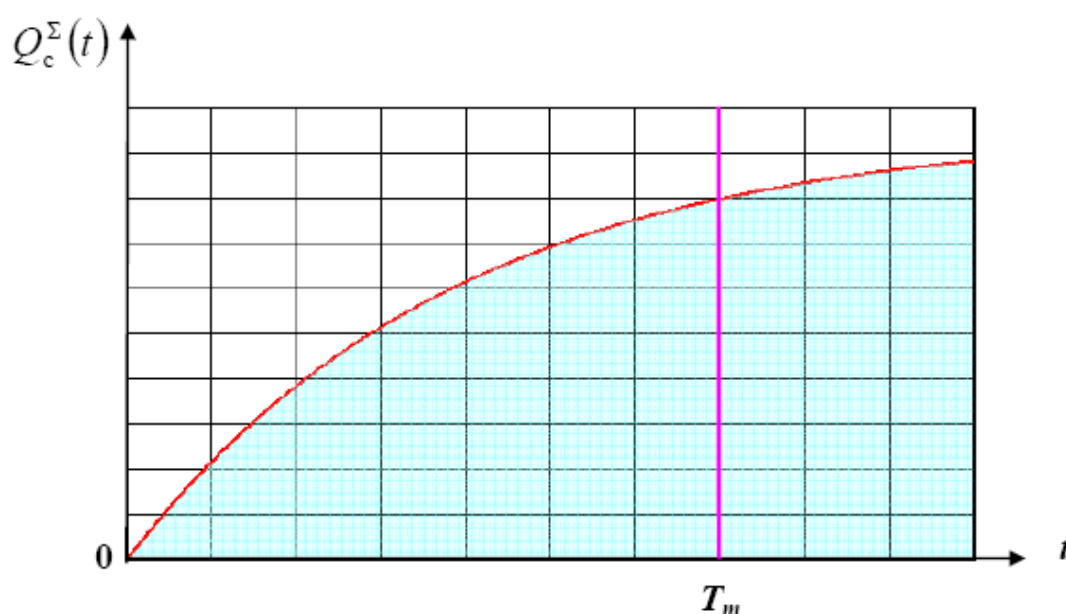


Рисунок 3. Динамика добычи «месторождений-спутников»

Кроме того, как описано ниже, в конечном итоге выбор варианта обустройства происходит на основании максимизации чистого дисконтированного дохода. В случае продолжительного срока T_m освоения основного месторождения, затраты и доходы, происходящие после T_m , с учетом дисконтирования могут в первом приближении не учитываться. Это дает дополнительное обоснование рассматриваемой постановке задачи.

Суммарную добычу от «месторождений-спутников» можно определить как:

$$Q_c^\Sigma = \int_0^{T_m} Q_m (1 - e^{-\alpha t}) dt \quad (6)$$

Математическую формулировку данной задачи можно записать следующим образом.

1. Обозначим запасы каждого из «месторождений-спутников» через R_i ($i=1, 2, \dots, n$), динамику добычи через $q_i(t)$, а максимальный уровень добычи через q_{mi} .

2. Основным условием поставленной задачи является требование, чтобы суммарная динамика добычи задействованных «месторождений-спутников» обеспечивала компенсацию падения добычи базового месторождения согласно (5) и рис. 3:

$$Q_c(t) = \sum_{i=1}^n q_i(t) \quad (7)$$

3. Примем величину капитальных вложений в i -е месторождение в виде:

$$C_i(t) = f_{li}(q_{mi}, l_i, t), \quad (8)$$

где l_i – расстояние от i -го месторождения до базового.

Будем предполагать, что обустройство «месторождений-спутников» будет осуществляться только с помощью подводных добычных комплексов с транспортировкой продукции в многофазном состоянии на платформы базового месторождения. Поэтому капиталовложения, определяемые по (8), зависят от стоимости объектов обустройства, которые в свою очередь зависят от уровня максимальной добычи, стоимости трубопроводов и шлангокабелей энергоснабжения и управления подводными добычными комплексами. Зависимость стоимости трубопроводов от их диаметров в неявном виде включена в функцию f_{li} , поскольку диаметры трубопроводов также зависят от уровней максимальной добычи q_{im} . Присутствие времени t в качестве аргумента функции f_{li} отражает зависимость капиталовложений в i -е месторождение от времени его ввода в эксплуатацию и поэтому в неявном виде учитывает дисконтирование капиталовложений.

Суммарные капиталовложения можно представить в виде:

$$C_{\Sigma}(t) = \sum_i C_i(t) \quad (9)$$

4. Одним из важнейших ограничений является требование, чтобы давление на входе в сепараторы на платформах базового месторождения было не меньше предельного минимального давления, на которые рассчитаны эти сепараторы:

$$P_{ci} \geq P_{c \min} \quad (10)$$

Давление на входе в сепараторы P_{ci} равно давлению на сборном коллекторе i -го месторождения P_{cki} за вычетом потерь давления в трубопроводе длиной l_i и диаметром d_i :

$$P_{ci} = P_{cki} - f_{2i}[q_i(t), l_i, d_i] \quad (11)$$

В уравнении (11) диаметр d_i введен для наглядности, хотя он зависит от $q_{mi} = \max q_i(t)$, и его в явном виде можно было бы не писать и считать, что все определяется видом функции f_{2i} .

Давление на сборном коллекторе P_{cki} равно забойному давлению за вычетом потерь давления в НКТ:

$$P_{cki} = f_{3i} \left\{ \left[R_i, \int_{t_{i0}}^t q_i(t) dt \right], q_i(t) \right\} \quad (12)$$

В функции f_{3i} выражение в квадратных скобках представляет собой пластовое давление, зависящее от суммарного отбора.

Пластовое ($P_{пл}$) и забойное (P_3) давления одной скважины связаны между собой известным соотношением [1]:

$$P_{пл}^2(t) - P_3^2(t) = Aq(t) + Bq(t)^2, \quad (13)$$

где A и B – коэффициенты фильтрационных сопротивлений, зависящие от характеристик конкретного месторождения и конструкции скважины.

5. Поскольку продукция от «месторождений-спутников» поступает на платформы базового месторождения по подводному трубопроводу в многофазном состоянии, для предотвращения гидратообразования в трубопроводе необходимо ввести ограничение на минимальную его загрузку:

$$\begin{cases} q_i(t) \geq q_{min}(t) \\ q_{min}(t) = f_4(d_i) \end{cases} \quad (14)$$

6. Введем еще одно ограничение, связанное с накопленной добычей «месторождений-спутников»:

$$\int_{t_{0i}}^{T_{mi}} q_i(t) dt \geq \xi_i R_i, \quad (15)$$

где t_{0i} и T_{mi} – соответственно время начала и окончания разработки i -го месторождения; ξ_i – коэффициент газоотдачи ($\xi_i < 1$).

7. Для упрощения задачи сделаем еще одно важное допущение не в ущерб общности поставленной задаче, но делающее постановку более корректной. Дело в том, что обустройство базового месторождения может осуществляться с помощью нескольких платформ, технологическое оборудование каждой из которых рассчитано на свой определенный уровень максимальной добычи. Кривая же, изображенная на рис. 3, относится к месторождению в целом. Для строгой постановки задачи следовало бы рассматривать распределение продукции с i -го месторождения между отдельными платформами. Однако в такой постановке задача существенно усложняется и может привести к громоздким выкладкам, затрудняющим анализ результата. Поэтому мы будем рассматривать базовое месторождение как единый комплекс, предполагая, что распределение продукции между отдельными платформами осуществляется внутри этого комплекса.

Таким образом, требуется определить функции $q_i(t)$ для различных i , обеспечивающих максимум ЧДД, принимая во внимание, что $q_i(t)=0$ при $t < t_{i0}$.

Наличие ограничения (14) существенно усложняет задачу определения $q_i(t)$ (а, следовательно, и q_{mi}), особенно на начальном этапе, поскольку имеют место два противоречивых требования: с одной стороны, $q_i(t)$ должна обеспечить загрузку трубопровода в любой момент времени, а с другой стороны, $q_i(t)$ не должна превышать потребностей в технологических мощностях платформ базового месторождения, определяемых по кривой рис. 3. Не нарушая общности постановки задачи, примем, что на начальном этапе подключается только одно «месторождение-спутник».

Из выражения (15) имеем для первого месторождения (см. рис. 4):

$$q_{m1}T_1 + q_{m1} \int_{T_1}^{T_m} e^{-\alpha_1 t} dt = q_{m1} \left[T_1 + \frac{1}{\alpha_1} (e^{-\alpha_1 T_1} - e^{-\alpha_1 T_m}) \right] \geq \xi_1 R_1, \quad (16)$$

где T_1 – период постоянной добычи;

α_1 – постоянная времени спада уровня добычи.

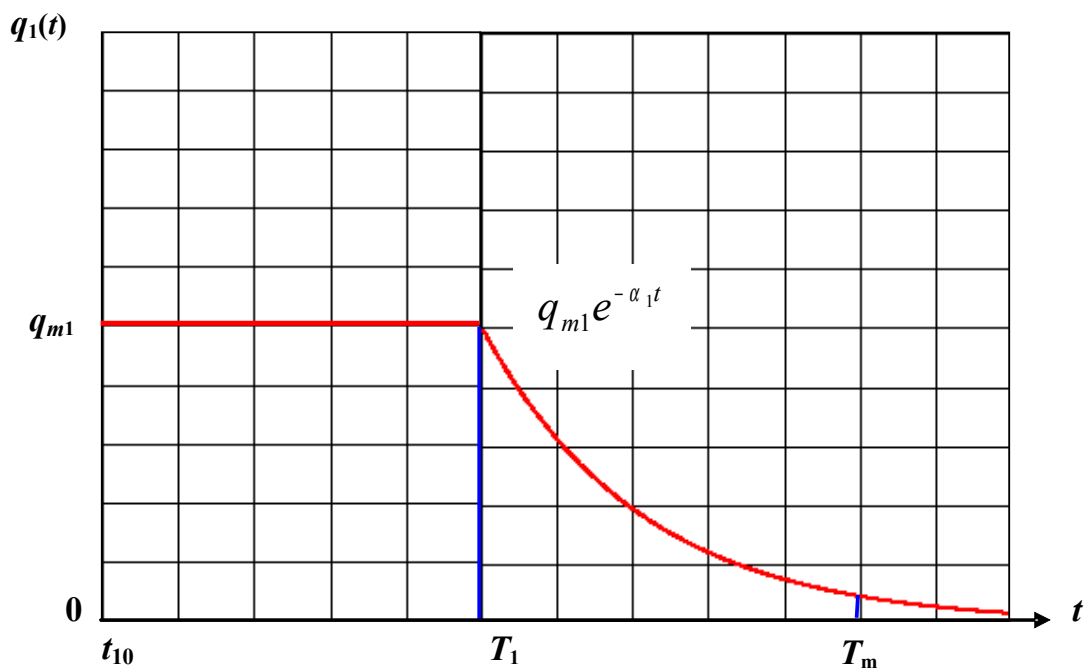


Рисунок 4. Динамика добычи газа с первого месторождения

Из условия (14) следует, что для первого месторождения период нарастания уровня добычи должен быть либо равен нулю (т.е. при $t=t_{10}$ весь газ в объеме q_{m1} должен поступать на платформы базового месторождения, как показано на рис. 4), либо при $t=t_{10}$ на платформы базового месторождения должен поступать газ в объеме не менее $0,75q_{m1}$, исходя из минимально допустимой 75% загрузки трубопровода, а затем в интервале $t_{10} \div t_{11}$ добыча увеличивается до q_{m1} .

Для первого варианта величины T_1 и α_1 определяются из (2) и (3):

$$T_1 = \frac{\gamma_1 R_1}{q_{m1}} \quad (17)$$

$$\alpha_1 = \frac{q_{m1}}{(1 - \gamma_1) R_1} \quad (18)$$

Для второго варианта величину T_1 можно определить по более сложной формуле:

$$T_1 = \frac{\gamma_1 R_1}{q_{m1}} - \frac{1,875t_{11} - 0,875t_{10}}{2} \quad (18a)$$

В выражениях (17), (18) и (18а) величина γ_1 определяется предельным минимальным давлением, которое необходимо обеспечить на входе в сепараторы платформ базового месторождения.

Подставив (17) и (18) в (16), получим:

$$\gamma_1 + (1 - \gamma_1) \left[e^{-\frac{\gamma_1}{1-\gamma_1}} - e^{-\frac{q_{m1}T_{m1}}{(1-\gamma_1)R_1}} \right] \geq \xi_1 \quad (19)$$

На рис. 5 приведена зависимость левой части (19) от γ_1 при различных значениях $\frac{q_{m1}T_{m1}}{R_1}$, т.е. при различных значениях отношения максимального уровня добычи к запасам (если считать T_{m1} заданным).

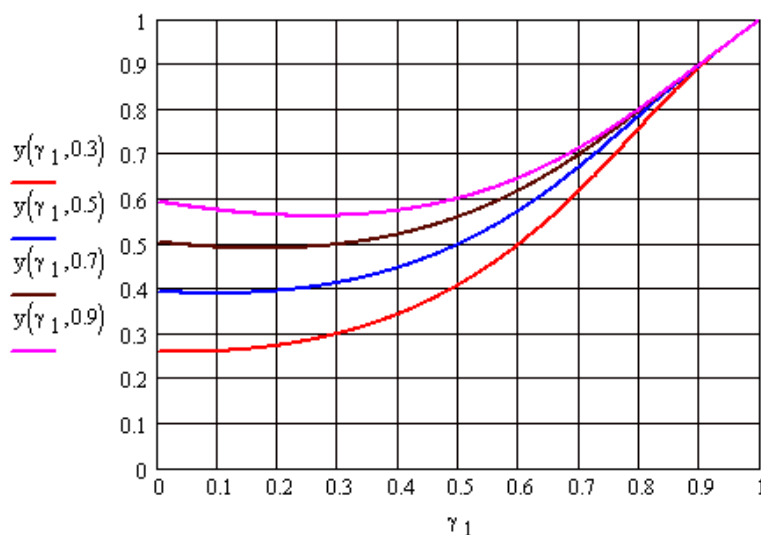


Рисунок 5

Из рис. 5 следует, что для увеличения коэффициента газотдачи необходимо увеличивать максимальный уровень добычи и величину γ_1 , т.е. обеспечить как можно позже начало периода падающей добычи, например, путем снижения минимального давления на входе в сепараторы платформ базового месторождения.

Из рис. 5 также следует, что при γ_1 выше 0,7 коэффициент газотдачи уже мало зависит от максимального уровня добычи и величины запасов и определяется, в основном, величиной γ_1 .

Определим вид приведенных выше функций f_i .

На рис. 6 показана схема обустройства при подключении первого месторождения.

На рис. 6 введены следующие обозначения:

$P_{пл1}$ – пластовое давление;

$P_{з1}$ – забойное давление;

P_{y1} – устьевое давление;

P_c – давление на входе в сепаратор;

l_1, d_1 – соответственно длина и диаметр трубопровода;

q_{m1} – максимальный уровень добычи первого месторождения.

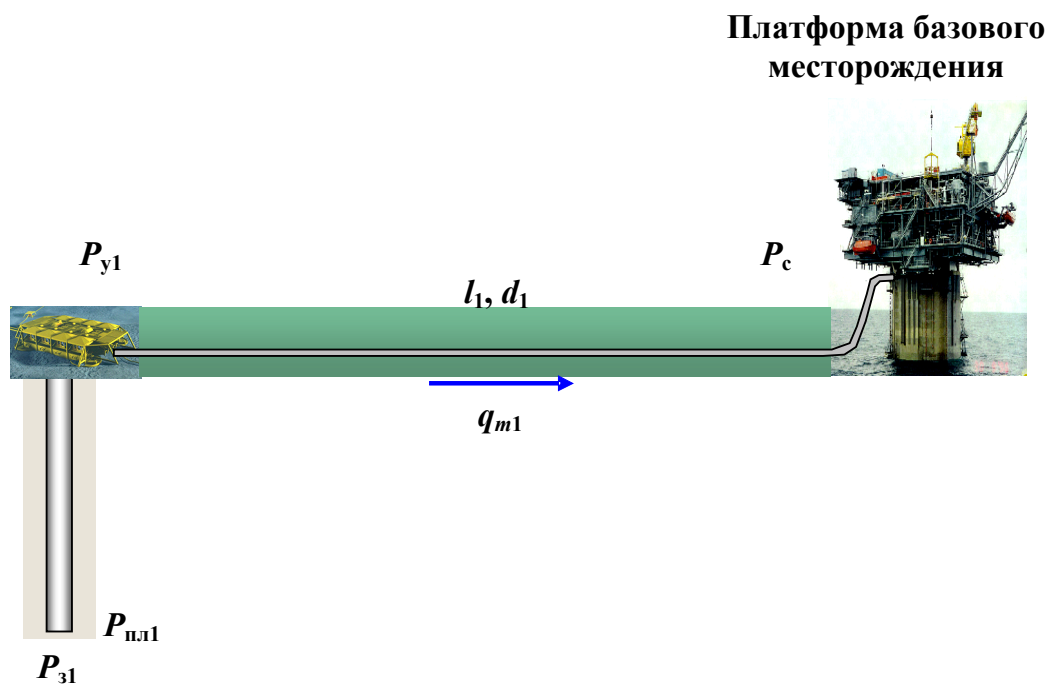


Рисунок 6. Схема обустройства при подключении первого месторождения

Примем связь между пластовым давлением $P_{пл1}$ и начальным пластовым давлением $P_{пл10}$ в следующем виде:

$$P_{пл1}(t) = P_{пл10} \left(1 - \frac{\int_0^t q_1(t) dt}{R_1} \right) \quad (20)$$

Связь между пластовым и забойным давлением определяется по (13):

$$P_{пл1}^2(t) - P_{з1}^2(t) = A_1 q_1(t) + B_1 q_1(t)^2 \quad (21)$$

Связь между забойным и устьевым давлением газовой скважины может быть определена из эмпирической формулы (25.3) [1]:

$$\left\{ \begin{array}{l} P_{y1}(t) = \sqrt{\frac{P_{з1}^2(t) - \theta_1 q_1^2(t)}{e^{2s_1}}} \\ 2s_1 = \frac{0,0683 \bar{\rho}_1 L_1}{Z_{cp1} T_{cp1}} \\ \theta_1 = 0,01413 \cdot 10^{-10} Z_{cp1}^2 T_{cp1}^2 (e^{2s_1} - 1) \lambda_{фт1} D_1^{-5} \end{array} \right. , \quad (22)$$

где: $\bar{\rho}_1$ – относительная плотность газа, [1];

L_1 – глубина скважины, м;

Z_{cp1} – средний коэффициент сверхсжимаемости газа [1];

T_{cp1} – средняя температура газа, °К;

$\lambda_{фт1}$ – коэффициент гидравлического сопротивления НКТ [1];

D_1 – внутренний диаметр НКТ, м;

В (22) размерность $q_1(t)$ – в тыс. м³/сут.; размерность давлений – в МПа.

Связь между давлением на входе в сепаратор P_c и устьевым давлением P_{y1} может быть определена на основании ряда работ по трубопроводному транспорту газа, например [2], а также на основании [3] или [4].

Для установившегося режима движения газа в трубопроводе без учета рельефа трассы имеем [3], [4]:

$$q_1 = 105,1 \cdot d_1^{2,5} \cdot \sqrt{\frac{P_{y1}^2 - P_c^2}{\bar{\rho}_1 \lambda_1 z_{cp1} t_{cp1} l_1}}, \quad (23)$$

где: $\bar{\rho}_1$ – относительная плотность газа, [1];

l_1 – длина трубопровода, км;

z_{cp1} – средний коэффициент сверхсжимаемости газа [1];

t_{cp1} – средняя температура газа, °К;

λ_1 – коэффициент гидравлического сопротивления [1];

d_1 – внутренний диаметр трубопровода, м;

Выразим из (23) P_c :

$$P_c(t) = \sqrt{P_{y1}^2(t) - \frac{q_1^2(t) \bar{\rho}_1 \lambda_{1z_{cp1}} t_{cp1} l_1}{105,1^2 d_1^5}} \quad (24)$$

Вид функции f_1 определим следующим образом.

Капитальные вложения в первое месторождение определяется стоимостью бурения скважин, стоимостью подводных добычных комплексов (ПДК) и стоимостью трубопровода. Число скважин определяется как отношение q_{m1} к среднему дебиту одной скважины δ_1 :

$$n_c = \frac{q_{m1}}{\delta_1} \quad (25)$$

Количество ПДК ($N_{пдк}$) определяется как наибольшее целое от отношения общего числа скважин (n_c) к числу скважин в одном ПДК ($n_{пдк}$):

$$N_{пдк} = \frac{n_c}{n_{пдк}} \quad (26)$$

Стоимость трубопровода определяется как стоимость единицы длины трубопровода диаметром d_1 , умноженная на его длину:

$$C_{т1} = c_{т} [d_1 (q_{m1})] l_1 \quad (27)$$

Общие капитальные вложения в первое месторождение будут равны:

$$C_1 = C_c n_c + C_{пдк} N_{пдк} + C_{т1} \quad (28)$$

После определения неизвестных функций задача может быть сведена к задаче исследования операций [4], [5].

Обозначим (см. рис. 7) через t_{10} момент подключения первого месторождения^{*)}, причем t_{10} установим таким образом, чтобы

$$Q_c^\Sigma(t_{10}) = Q_m (1 - e^{-\alpha t_{10}}) = q_{m1}, \quad (29)$$

либо

$$Q_c^\Sigma(t_{10}) = Q_m (1 - e^{-\alpha t_{10}}) = 0.75 q_{m1}, \quad (30)$$

^{*)} Понятие «первое месторождение» является число условным и обозначает лишь первое по порядку, что может не соответствовать обозначениям на рис. 1. Порядок ввода конкретных месторождений-спутников как раз и определяется в результате решения данной задачи

исходя из условия минимально допустимой загрузки трубопровода, идущего от первого «месторождения-спутника» к платформе базового месторождения. Тогда выход на уровень q_{1m} произойдет в момент:

$$t_{11} = -\frac{1}{\alpha} \ln \frac{e^{-\alpha t_{10}} - 0.25}{0.75} \quad (31)$$

Переход от $0,75q_{1m}$ до q_{1m} может идти либо по кривой $Q_m(1 - e^{-\alpha t})$, либо линейно.

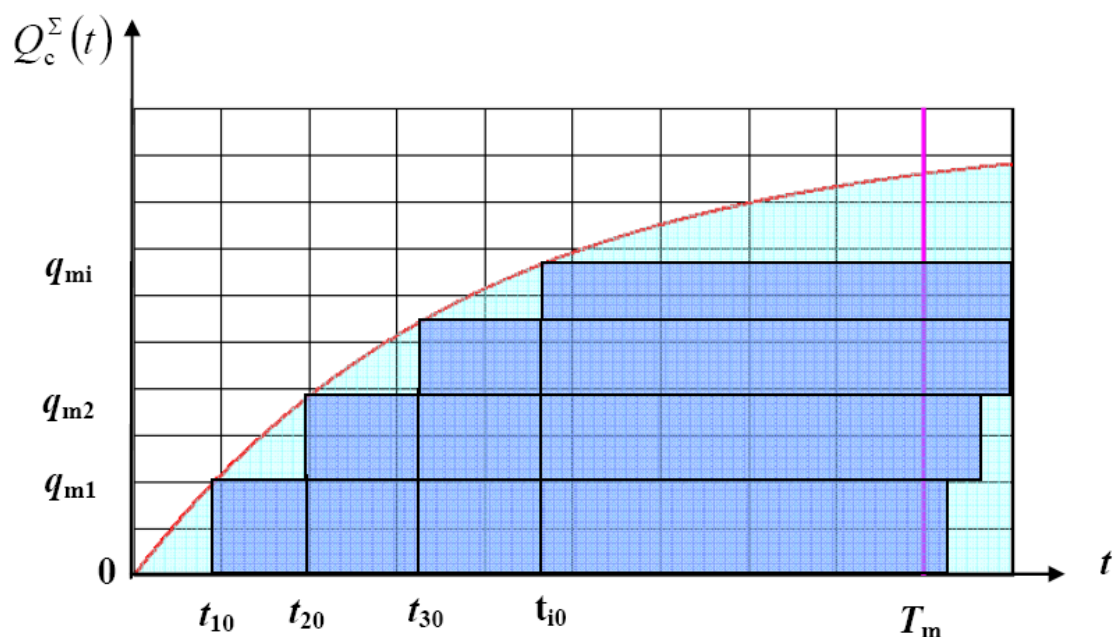


Рисунок 7

Введем ограничение на максимально допустимое отклонение от уровня максимальной добычи базового месторождения:

$$\begin{cases} Q_m(1 - e^{-\alpha t_{10}}) \leq \delta Q_m \\ t_{10} \leq -\frac{\ln(1 - \delta)}{\alpha} \end{cases}, \quad (32)$$

где δ – предельное отклонение от Q_m (например, 10%, т.е. $\delta=0,1$), подлежащее оптимизации.

В дальнейшем для простоты мы будем пользоваться выражением (29) с условием (32). Тогда с учетом (29) и (32), заменяя неравенство равенством, величина q_{1m} определяется однозначно.

Аналогично для второго месторождения:

$$Q_c^\Sigma(t_{20}) = Q_m(1 - e^{-\alpha t_{20}}) = q_{m1} + q_{m2} \quad (33)$$

$$\begin{cases} Q_m(1 - e^{-\alpha t_{20}}) - q_{m1} \leq \delta Q_m \\ \ln\left(1 - \delta - \frac{q_{m1}}{Q_m}\right) \\ t_{20} \leq - \frac{\ln\left(1 - \delta - \frac{q_{m1}}{Q_m}\right)}{\alpha} \end{cases}, \quad (34)$$

Для i -го месторождения

$$Q_c^\Sigma(t_{i0}) = Q_m(1 - e^{-\alpha t_{i0}}) = q_{m1} + q_{m2} + \dots + q_{mi} \quad (35)$$

$$\begin{cases} Q_m(1 - e^{-\alpha t_{i0}}) - q_{m1} - q_{m2} - \dots - q_{m(i-1)} \leq \delta Q_m \\ \ln\left(1 - \delta - \frac{q_{m1} + q_{m2} + \dots + q_{m(i-1)}}{Q_m}\right) \\ t_{i0} \leq - \frac{\ln\left(1 - \delta - \frac{q_{m1} + q_{m2} + \dots + q_{m(i-1)}}{Q_m}\right)}{\alpha} \end{cases} \quad (36)$$

На величины q_{mi} должны быть наложены ограничения, определяемые из (14), (16), (23).

Уравнения (29), (33) .. (35) записаны без учета периода падающей добычи какого-либо одного или нескольких месторождений. Начало периода падающей добычи T_i определяется величинами q_{mi} , R_i и γ_i . При данной постановке задачи и при падении добычи с i -го месторождения до величины $0,75q_{mi}$ разработка этого месторождения становится невозможной и оно должно быть исключено из рассмотрения. При этом должна быть обеспечена компенсация величины q_{mi} , за счет ввода в эксплуатацию другого месторождения, начиная с момента t_{ki} , который может быть определен из (17) и (18) следующим образом:

$$t_{ki} = t_{i0} + \frac{\gamma_i R_i}{q_{mi}} + \ln \frac{0,75(1 - \gamma_i) R_i}{q_{mi}} \quad (37)$$

Однако в этом случае говорить о выполнении условия (15) не имеет никакого смысла. Поэтому мы будем предполагать, что к моменту начала периода падающей добычи любого «месторождения-спутника» появятся либо подводные компрессоры, либо будет модернизировано технологическое оборудование на платформе базового месторождения, либо в районе «месторождения-спутника» будет установлена дополнительная платформа (или платформы), что обеспечит в

конечном итоге продление периода постоянной добычи «месторождения-спутника» по крайней мере, до величины T_m , когда закончится освоение базового месторождения. В связи с этим для данной задачи примем, что начало периода падающей добычи любого «месторождения-спутника» происходит за пределами величины T_m .

К уравнениям (29), (33),..., (35) необходимо добавить некоторую целевую функцию, которую необходимо максимизировать. В качестве такой функции примем чистый дисконтированный доход. Запишем это условие в общем виде:

$$L = \omega_1(q_{m1}, t) + \omega_2(q_{m2}, t) + \dots + \omega_i(q_{mi}, t) + \dots + \omega_n(q_{mn}, t) \quad (38)$$

Наличие времени t в аргументе предполагает операцию дисконтирования.

В связи с тем, что выражение (38) является нелинейной функцией, для решения данной задачи вместо метода линейного программирования необходимо применить аппарат оптимизации при нелинейной целевой функции [5].

Дисконтированные доходы от реализации продукции «месторождений-спутников» будут иметь вид:

$$r_i^{(d)} = \rho \int_{t_{i0}}^{T_m} q_{mi} e^{-\varepsilon t} dt = \frac{\rho q_{mi}}{\varepsilon} (e^{-\varepsilon t_{i0}} - e^{-\varepsilon T_m}) \quad i=1..n \quad (39)$$

Дисконтированные капитальные вложения в «месторождения-спутники» с учетом (25)÷(28) будут иметь вид:

$$C_i^{(d)} = C_i e^{-\varepsilon(t_{i0} - \tau_i)} \quad i=1..n, \quad (40)$$

где τ_i – время, необходимое для строительства объектов обустройства для i -го месторождения, а ε – непрерывная норма дисконта.

Уравнения (39) и (40) записаны в предположении, что капитальные вложения в очередное месторождение осуществляется в интервале $t_{i0} - \tau_i \div t_{i0}$, а доход от реализации начинается с момента t_{i0} и продолжается до момента t_{ki} .

Таким образом, с учетом (39) и (40) функции ω_i будут равны:

$$\omega_i = r_i^{(d)} - C_i^{(d)} \quad (41)$$

при условии, что $\omega_i \geq 0$.

Уровни максимальной добычи с каждого месторождения можно определить, решив уравнения (29), (33), (35), (38) с учетом (20)÷(28), (32), (34),

(36), (37), (39), (40), (41) для конкретных месторождений. Очередность ввода «месторождений-спутников» может быть определена в результате решения этих же уравнений, поскольку параметры «месторождения-спутника» входят в капитальные вложения.

Таким образом, поставлена задача комплексного освоения морских месторождений, заключающаяся в вовлечении в разработку «месторождений-спутников», обеспечивающих компенсацию падения добычи крупного базового месторождения в интервале от начала периода падающей добычи и до конца его разработки. Приведена методика определения очередности ввода в разработку «месторождений-спутников» и уровней добычи с этих месторождений, включая методику определения целевой функции.

Литература

1. Гриценко А.И. и др. Руководство по исследованию скважин. М. «Наука», 1995.
2. Алиев Р.А. и др. Трубопроводный транспорт нефти и газа. М. «Недра», 1988.
3. Общесоюзные нормы технологического проектирования. Магистральные трубопроводы, ч. I Газопроводы. ОНТП 51-1-85., М., изд. ВНИИГАЗ, 1985.
4. Агапкин В.М. и др. Справочное руководство по расчетам трубопроводов. М., «Недра», 1987.
5. Вентцель Е.С. Исследование операций. «Советское радио», М., 1972.
6. Вагнер Г.. Основы исследования операций. Том 2. «Мир», М., 1972.