

**Санкт-Петербургский Государственный Политехнический  
университет**

**Инженерно-строительный факультет**

**Кафедра: «Технология, организация и  
экономика строительства»**

**Булатов Г.Я.**

**Оптимизация параметров экскаваторного забоя.**

**Лабораторная работа**

**Санкт-Петербург  
2003г.**

### 4.3. Расчет оптимальной ширины забоя экскаватора “прямая лопата”

Рассматриваем работу экскаватора “прямая лопата” в боковом ярусном забое при погрузке грунта на самосвалы. Здесь одним из основных технологических параметров является ширина забоя, которая и влияет на производительность экскаватора. При этом существует оптимальная ширина забоя, отклонение от которой как в сторону уменьшения, так и в сторону увеличения ведет к снижению производительности экскаватора. Отыскание оптимальной ширины забоя, обеспечивающей максимум производительности, и является целью приведенного решения.

Расчетная схема забоя с основными размерами представлена на рис. 4.4: а) в плане и б) в разрезе. Здесь 0 - ось забоя, проходящая по середине его подошвы; ЦЗ - центр тяжести точек выхода ковша из забоя; Ц - ось, проходящая через центры забоев (ЦЗ); Э - ось экскаваторного хода; Т - ось хода транспортных средств; ЦТ - центр тяжести точек разгрузки ковша в транспортное средство (или в отвал).

Техническую часовую производительность экскаватора запишем в виде:

$$\Pi^T = Q_{ц} / T_{ц}, \quad (4.7)$$

где  $Q_{ц}$  - объем грунта в ковше, приведенный к естественной плотности в выемке;

$T_{ц}$  - продолжительность цикла экскаватора.

Эксплуатационная производительность будет

$$\Pi^э = \Pi^T * K_B. \quad (4.7a)$$

Здесь введем выражение:

$$K_B = K_M * K_{п} * K_{рв} * K'_B, \quad (4.7б)$$

где  $K_M$  - коэффициент использования экскаватора во времени, учитывающий перерывы в подаче автосамосвалов и время их маневрирования при установке под погрузку,

$K_{п}$  - то же, коэффициент, учитывающий потери времени на передвижки экскаватора вдоль забоя,

$K_{рв}$  - коэффициент, учитывающий потери времени на концевые развороты экскаватора (сюда же относятся и приведенные потери времени, связанные со снижением производительности экскаватора при начальной врезке в следующую ленту забоя),

$K'_B$  - коэффициент, учитывающий прочие потери времени.

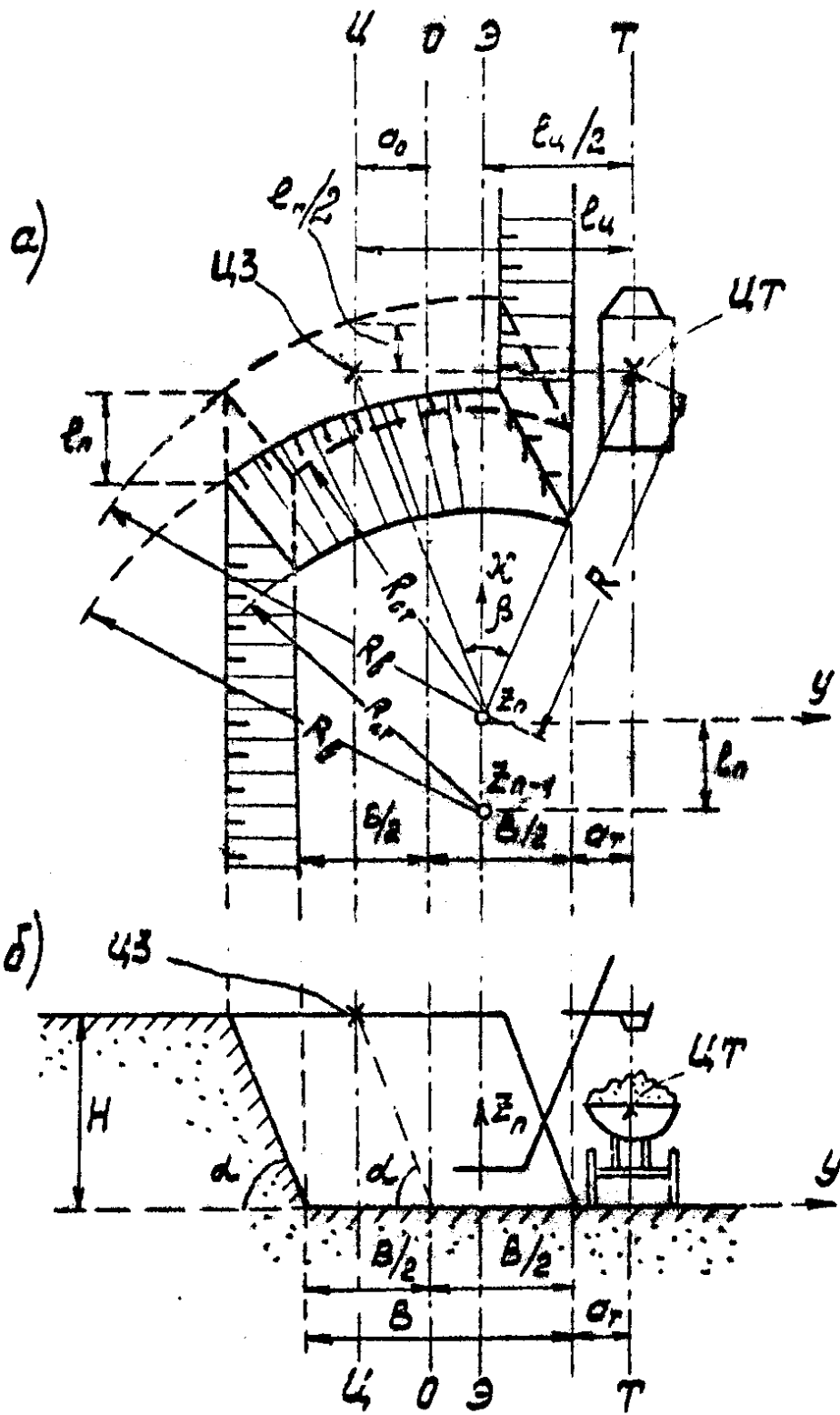


Рис.4.4

$$K_M = \frac{m * T_y}{m * T_y + (T_M - T_y)} \quad (4.8)$$

при условии:

$$0 \leq K_M \leq 1,0 ,$$

где  $T_M$  - время на маневрирование (0,5-2 мин) и перерывы в подаче самосвала под погрузку.

$$K_{II} = \frac{\frac{V_{II}}{\Pi^T * K_M}}{\frac{V_{II}}{\Pi^T * K_M} + (T_{II} - T_M)} \quad (4.8a)$$

при условии:

$$0 \leq K_n \leq 1,0 ,$$

где  $T_{II}$  - время, затрачиваемое на одну передвижку экскаватора вдоль забоя (1-4 мин).

Объем грунта, разрабатываемый с одной стоянки экскаватора,

$$V_{II} = l_{II} * H * B, \quad (4.9)$$

где  $l_{II}$  - длина (шаг) передвижки экскаватора;  $B$ - ширина забоя;  $H$ -высота забоя.

$$B = 2(2R * \sin \frac{\beta}{2} - \alpha) \quad (4.10)$$

где  $R$  – средний расчетный радиус резания при заборе грунта;  $\beta$  - средний расчетный угол поворота экскаватора на выгрузку в радианах (измеряется между направлениями на центр тяжести точек выхода ковша из забоя и на центр тяжести точек выгрузки грунта из ковша, т.е. между ЦВ и ЦЗ):

$$\alpha = \alpha_0 + \alpha_T, \quad (4.10a)$$

где  $\alpha_0$ - эксцентриситет забоя (расстояние ЦЗ от оси 0 забоя);

$\alpha_T$  - расстояние от границы забоя до оси транспортного хода.

Продолжительность цикла аналогично (2,5а) представим в виде:

$$T_y = K \cdot \beta + T_0 \quad (4.11)$$

$$K_{pg} = \frac{\frac{V_l}{A}}{\frac{V_l}{A} + (T_{pg} - T_n)} \quad (4.12)$$

при условии:

$$A = \Pi^T \cdot K_M \cdot K_{II} \quad \text{и} \quad 0 \leq K_{pg} \leq 1,0 ,$$

где объем снимаемой экскаватором ленты грунта

$$V_{л} = L_{л} \cdot B \cdot H \quad . \quad (4.12a)$$

Здесь  $T_{рв}$  - время, затрачиваемое на один концевой разворот экскаватора (4-7 мин);  $L_{л}$  - длина ленты грунта, разрабатываемой экскаватором (или длина одной проходки экскаватора), равная длине карьера. В первом приближении можно принять  $K_{рв}=1,0$ . Далее

$$\alpha_T = \frac{v_T}{2} + \Delta\alpha_T$$

и

$$a_0 = H \cdot ctg\alpha \quad , \quad (4.13a)$$

где  $v_T$  - ширина транспортного средства;

$\Delta\alpha_T$  - запас ширины, равный 0,5-1,0м;

$\alpha$  - угол откоса элемента забоя ( $60^\circ$  -  $75^\circ$  при переходе от сыпучих грунтов к связным).

Ниже приведены справочные эмпирические зависимости:

$$T_O = K_{TP} \cdot 2,7 \cdot \sqrt[4]{M_э} + 2 + 0,5 \cdot R_p \quad , с;$$

$$K = 0,45 \cdot R_p \quad , с/рад; \quad (4.13б)$$

$$l_{II} = 0,5 \cdot H_{H.B} \quad ;$$

$$H_{H.B} = 1,5 \cdot \sqrt[4]{M_э} \quad , м;$$

$$H = \eta_{H.B} \cdot H_{H.B} \quad ;$$

$$R = R_B - 0,5 \cdot l_{II} \quad .$$

Здесь  $K_{TP}$  - коэффициент трудности разработки грунта, зависящий от его группы (для 1У гр.- 1,0, для гр. 1-У1 - 0.55-1,6);  $M_э$  - масса экскаватора, т;  $R_p$  - максимальный радиус резания, м;  $\eta_{H.B}$  - относительная высота забоя (равна 1 - 1,2 при возрастании группы грунта по трудности разработки);  $H_{H.B}$  - высота напорного вала на стреле экскаватора.

Из геометрических соотношений имеем предельные величины для ширины забоя (теоретический максимум и технологический минимум).

$$B_{TEOP}^{MAX} = \frac{2}{3} \left[ 2 \cdot (\sqrt{R_{CT}^2 - l_{II}^2} + a_0) - a \right] \quad , \quad (4.14)$$

$$B_{TECH}^{MIN} = \frac{m \cdot Q_{II}}{l_{II} \cdot H} \quad , \quad (4.14a)$$

где  $R_{CT}$  - максимальный радиус резания грунта на уровне стоянки экскаватора.

При малых  $B$  рекомендуется проверить, не касается ли платформа экскаватора откосов забоя. Проверка легко выполняется графически на плане забоя или по условию

$$B_{\text{ГЕОМ}}^{\text{MIN}} = 2 \cdot r_{\text{XB}} \quad , \quad (4.14\text{б})$$

где  $r_{\text{XB}}$  - радиус хвостовой части экскаватора.

Абсолютная максимальная ширина забоя (физический максимум) и ее технологический максимум

$$B_{\text{ФИЗ}}^{\text{MAX}} = \sqrt{R_{\text{СТ}}^2 - l_{\text{П}}^2} + R_{\text{В}} - a_{\text{T}} \quad ,$$

$$B_{\text{ТЕХ}}^{\text{MAX}} = 2\sqrt{R_{\text{СТ}}^2 - l_{\text{П}}^2} \quad , \quad (4.14\text{в})$$

где  $R_{\text{В}}$  - максимальный радиус выгрузки.

Задавая ряд величин  $\beta_i$ , находят соответствующие им производительности  $\Pi_i^3$  и строят график функции  $\Pi^3 = f(\beta, B)$ , представленный на рис.4.5, по которому находят оптимальный угол поворота экскаватора  $\beta_{\text{ОПТ}}$ , соответствующий максимуму эксплуатационной производительности  $\Pi^3_{\text{max}}$ . По величине  $\beta_{\text{ОПТ}}$  находят остальные технологические параметры, в том числе оптимальную ширину забоя  $B_{\text{ОПТ}}$  и уточняют расчетом величину  $\Pi^3_{\text{max}}$ .

Эта производительность может служить основой для уточнения: необходимого количества экскаваторов, проектного потока грунта, а также срока строительства (путём обратного перерасчёта).

Отметим, что здесь повышение производительности достигается без каких-либо дополнительных затрат, лишь изменением геометрических параметров технологического процесса.

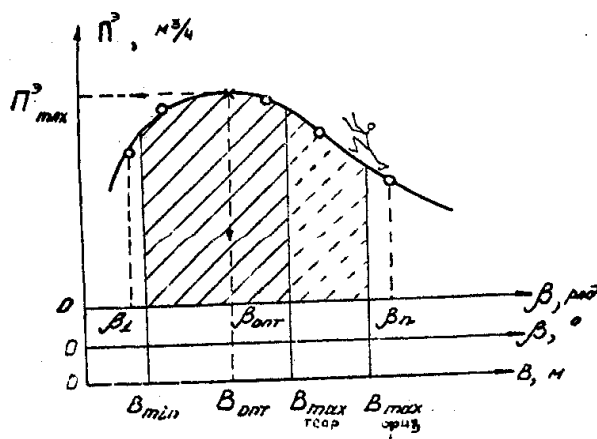


Рис.4.5.

#### 4.4. Расчет высоты забоя экскаватора типа “прямая лопата”

Анализ производительности экскаватора показывает, что она зависит от высоты забоя. При малой высоте производительность уменьшается за счет недонаполнения ковша грунтом, или по причине потерь времени на осуществление повторного черпания грунта. При очень большой высоте забоя затрудняется резание грунта на верхних отметках. Таким образом, явно существует задача оптимизации высоты забоя.

В данном случае, в качестве цели оптимизации возьмем достижение максимальной степени наполнения ковша грунтом.

Рассматривая схему резания грунта, с учетом криволинейности стружки, представленную на рис. 4.6а, оптимальную высоту забоя определяем по выражению:

$$H = H_{H.K} = 2r \sin^2 \left( \frac{Q_{3AXB}}{2r\delta\eta_{3axb}v_k} \right), \quad (4.15)$$

где  $r$ -рабочий радиус резания;  $\delta$ - средняя толщина стружки грунта (0,1-0,2 м);  $v_k$ -ширина ковша; ( $v_k = \sqrt[3]{q}$ );  $\eta_{3axb}$ -КПД захвата грунта при наполнении ковша с учетом потерь в боковые валики и пересыпанию через край ковша (0,9-0,95).

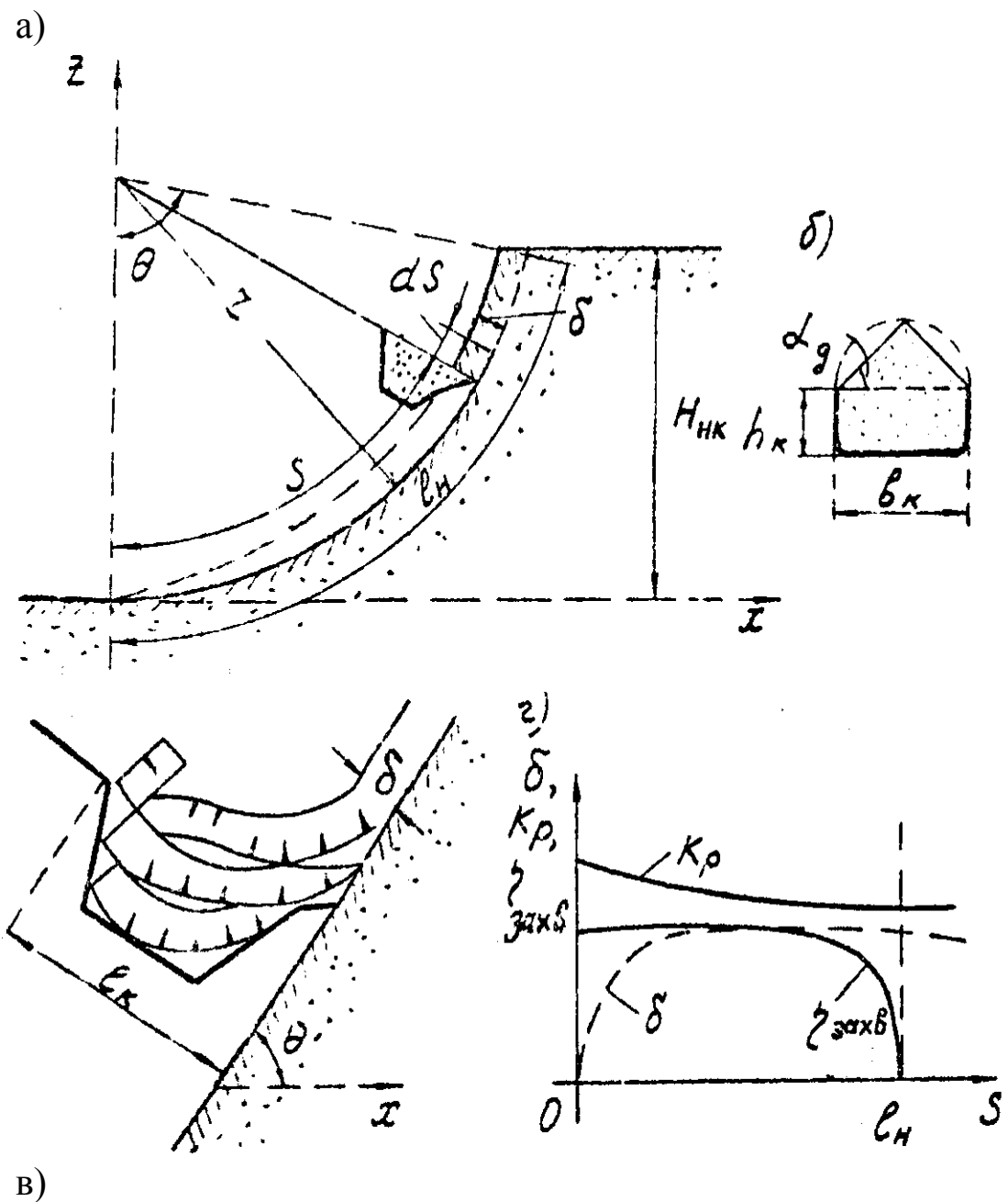


Рис.4.6.

Объем захваченного ковшом грунта

$$Q_{захв} = q \frac{K_H}{K_p} \cdot \eta_B, \quad (4,16)$$

где  $q$ -геометрическая емкость ковша;  $K_H$  и  $K_p$ -коэффициенты соответственно заполнения ковша и разрыхления грунта;  $\eta_B$ -КПД выгрузки грунта из ковша, учитывающий снижение геометрической емкости за счет налипания грунта (0,9-1,0).



Здесь важно отметить, что срезанный, (но не захваченный ковшом) грунт падает вниз и скапливается у подошвы забоя. Этот грунт подбирается при последующих черпаниях.

Наибольшая величина коэффициента наполнения ковша в форме четырехгранной пирамиды (рис.4.6,б)

$$K_{\text{геом. макс}} = 1 + \frac{b_k \cdot \text{tg} \alpha_q}{6 \cdot h_k}, \quad (4,17)$$

где  $\alpha_q$ -динамический угол откоса (от  $45^0$ -для сухих сыпучих грунтов, до  $60^0$ -для связных);  $h_k$ - высота ковша.

Для грунта в ковше коэффициент разрыхления определяется выражением:

$$K_p = \frac{\gamma_{\text{ест}}}{\gamma_p} = \frac{\rho_{\text{ест}}}{\rho_p} = \frac{V_k}{Q_k}, \quad (4,18)$$

где  $\gamma_{\text{ест}}$  ( $\rho_{\text{ест}}$ ) и  $\gamma_p$  ( $\rho_p$ ) - удельные веса (плотности) грунта соответственно в естественном и рыхлом состоянии;  $V_k$  и  $Q_k$ -объем грунта в ковше, приведенный соответственно к рыхлому и естественному состоянию.

При этом

$$Q_k = q \frac{K_n}{K_p}. \quad (4,19)$$

Разрыхление грунта при резании и заполнении ковша определяется сложными законами разрушения и деформации материалов. В дисперсных материалах типа грунтов при сдвиговых деформациях разрыхление определяется делениями контракции и дилатансии и их совместном действии. Но главный вклад в общее рыхление грунта дадут макроразрыхления, т. е нарушения сплошности стружки грунта в виде трещин разрыва, а также образование полостей в грунте при укладке его в ковш, вследствие различного рода арочных эффектов (рис. 4. 6, в).

В первом приближении можно записать

$$K_p = K_{p1} K_{p2} \dots, \quad (4,20)$$

где  $K_{p1}$  -коэффициент разрыхления при резании грунта;  $K_{p2}$ -то же, при укладке грунта в ковш.

Отметим, что такие технологические параметры как толщина стружки, коэффициент разрыхления, КПД захвата грунта не остаются постоянными в процессе резания. Качественная картина их изменения по пути S резания представлена кривыми на рис. 4.6,г.

Коэффициент разрыхления будет меняться и дальше по всей технологической цепи переработки грунта, начиная от разработки его в карьере и кончая процессами слеживания (спекания) его в течение всего периода эксплуатации насыпи.

Характер изменения коэффициента разрыхления во времени T при проведении операции резания  $T_p$ , транспортирования  $T_{тр}$ , разравнивания  $T_{\text{разр}}$  и уплотнения  $T_{\text{уп}}$  представлен на рис. 4.7.

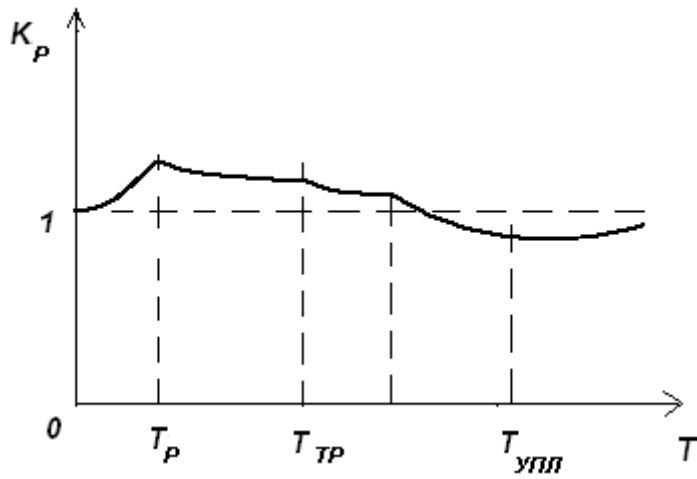


Рис.4.7

И эта динамика коэффициента разрыхления, по-видимому, должна учитываться при проектировании технологических процессов обработки грунтовых материалов.