

Обобщенные критерии оптимального выбора технологий и машин

*К.т.н., доцент ГОУ СПбГПУ Г.Я. Булатов**

И вся наша жизнь, по сути, непрерывный выбор технологий и их осуществление

Единый критерий любого выбора суть пространство возможностей (B) выбираемого объекта должно быть больше или равно пространству предъявляемых к нему требований (T), т. е.

$$\boxed{B \geq T}. \quad (1)$$

Любой обобщенный критерий всегда может быть представлен в виде ряда частных составляющих критериев. Для выбора технологии их можно записать в виде четырехмерного пространства и его качественных характеристик (физических, экологических, социологических):

$$\left. \begin{array}{l} \text{I: } X_B \geq X_T, \\ \text{II: } Y_B \geq Y_T, \\ \text{III: } Z_B \geq Z_T \end{array} \right\} \text{ – геометрические критерии, } (2)$$

$$\text{IV: } P_B \text{ (или } 1/T_B) \geq P_T \text{ (или } 1/T_T) \text{ – критерий производительности } (2a)$$

(или времени),

$$\left. \begin{array}{l} \text{V: } KP_B \geq KP_T \text{ – критерий качества продукции (сооружения),} \\ \text{VI: } BP_B \geq BP_T \text{ – критерий безопасности работ,} \\ \text{VII: } \mathcal{E}L_B \geq \mathcal{E}L_T \text{ – критерий экологичности технологии,} \\ \text{VIII: } UT_B \geq UT_T \text{ – критерий устойчивости технологического} \\ \text{процесса,} \\ \text{IX: } \mathcal{E}C_B \geq \mathcal{E}C_T \text{ – критерий эстетичности,} \\ \text{X: } \mathcal{E}H_B \geq \mathcal{E}H_T \text{ – критерий экономичности.} \end{array} \right\} (3)$$

В известной мере эти критерии выбора можно рассматривать как основные (классические), однако их состав может быть всегда расширен за счет специфических требований, выставляемых, например, со стороны Заказчика (или Потребителя) продукции, а также для уточнения выбора.

Как известно, практической целью технологии как науки является: выбор метода технологии, разработка оптимальных технологических схем, выбор типа и числа строительных машин, необходимых для выполнения работ по объекту в заданные сроки и с требуемым качеством, при минимальной стоимости работ. Все вышеперечисленные критерии выбора технологии используются и при выборе строительных машин. При этом **геометрическое пространство возможностей** следует рассматривать как рабочую зону машины, а **пространство требований** – как технологический объем, в каждой точке которого должны быть выполнены все остальные критерии, обеспечивающие качество этого объема.

Одним из основных является критерий **качества продукции (сооружения)**, которое определяется всеми потребительскими свойствами и также оценивается с помощью всех приведенных выше универсальных критериев, но примененных уже к сооружению на всех стадиях его возведения и эксплуатации. Заметим здесь, что предела качеству изделий нет, но есть оптимальный необходимый уровень качества, соответствующий технико-экономическим возможностям общества на данном этапе его развития.

Все упомянутые критерии выбора, в зависимости от конкретных машин и условий, могут быть еще более детализированы. Так **критерий производительности** может быть представлен как эксплуатационной производительностью, так и технической или их составляющими: например, емкостью ковша (кузова), сохранностью продукции, циклом, грузоподъемностью, рабочими скоростями, мобильностью, временем перебазирования, монтажа и т. п. При этом выбор рекомендуется начинать с наиболее мощных и высокопроизводительных машин.

Критерий устойчивости (надежности, непрерывности) технологического процесса определяется и качеством машин, их новизной, надежностью, техническим состоянием, выработкой и т. п. Он может быть выражен также коэффициентом запаса в количестве машин

$$\text{VIII-1: } K_{устB} = N^c / N^p \geq [K_{устT}], \quad (4)$$

где N^c – списочное (проектное) число машин,

N^p – расчетное число машин.

Устойчивость работы технологической цепи определяется оптимальным согласованием составляющих ее машин по их числу и мощности.

Безопасность можно разделить на таковую для оператора и для машины, а также на внутреннюю (собственную) и внешнюю, определяемую соответствующими коэффициентами надежности, безопасности, устойчивости, прочности, долговечности...

Экологичность оценивается степенью чистоты технологического процесса по отношению к окружающей среде и природе в настоящем и будущем.

Экономичность включает все приведенные показатели, а также характеристики машин: общая масса, масса движущихся частей, расходы топлива, других видов энергии...

Отметим, что при выполнении прочих критериев выбора условие экономичности, как правило, выполняется автоматически, поскольку это условие является синтетическим. И, конечно, требует проверки **критерий времени** выполнения работ, который обеспечивается лишь при условии максимальной загрузки машин.

Естественно, что все требования к машине можно разделить на жесткие и нежесткие. К жестким, например, геометрическим, относятся требования, которые должны быть выполнены безусловно точно (или строго). Однако, здесь следует заметить, что невыполнимых требований теоретически не существует.

К нежестким относятся требования, для которых допустимо лишь приближение к некоторой оптимальной величине.

Выбор типа машин для выполнения любого процесса определяется из принципа наибольшего соответствия данной машины условиям работы или наибольшего удовлетворения требований.

Поскольку выбор является многофакторным, то степень соответствия машины условиям ее работы можно оценить величиной

$$C_0 = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{T_i}{B_i} q_i}{\sum_{i=1}^n q_i}, \quad (5)$$

где q_i – относительная важность (весовой коэффициент) достижения удовлетворения данного требования.

Степень соответствия определяется при условии $B_i \geq T_i$, в противном случае следует принять обратные величины, например,

$$1/T_B \geq 1/T_T. \quad (6)$$

Наилучшее соответствие предполагается при $C_0 = 1$.

Приведенные условия позволяют провести сравнение вариантов различных типов и марок машин и выбрать лучший из них.

В случае невыполнения какого-то из критериев всегда существует два выхода:

- 1) увеличить ресурс возможностей (например, мощность машины),
- 2) снизить размер требований (например, технологического объема и т.п.).

Классификация и выбор кранов

1. По принципиальной схеме конструкции выделяют краны:
 - 1) стреловые,
 - 2) козловые,
 - 3) мостовые,
 - 4) мостокабельные,
 - 5) кабельные,
 - 6) башенные (с верхним и нижним противовесами),
 - 7) порталные...
2. По мобильности:
 - 1) стационарные,
 - 2) передвижные,
 - 3) переносные,
 - 4) самоходные,
 - 5) плавучие,
 - 6) подводные,
 - 7) летающие,
 - 8) космические...
3. По ходовому устройству:
 - 1) пневмоколесные,
 - 2) гусеничные,
 - 3) автомобильные,
 - 4) тракторные,
 - 5) на рельсовом ходу,
 - 6) на плавучих платформах (понтонках)...
4. Типы стреловых кранов:
 - 1) с горизонтальной стрелой,
 - 2) с наклоняемой стрелой,
 - 3) с телескопической стрелой,
 - 4) с конвейерной стрелой,
 - 5) с трубопроводной стрелой,
 - 6) с концевой опорой стрелы (подставкой),
 - 7) с концевым вертолетным винтом (поддержкой стрелы),
 - 8) со стабилизацией башни винтами,
 - 9) с противовесом на прицепе-трайлере,
 - 10) со стабилизацией вакуумированием,
 - 11) с внешним автономным противовесом,
 - 12) с «анкерным» противовесом...

Как и конвейеры, трубопроводы и подъемники, краны относятся к транспортирующим машинам, которые, в отличие от транспортных, сами при подъеме груза практически не перемещаются.

Основные **критерии выбора** остаются общими и приведены в части 1. Ниже раскрыты некоторые из них:

$$\text{I: } R_B \geq R_T = l_{mp} = b_k / 2 + \Delta b_k + a + B_{coop} / N_T + \Delta l, \quad (1)$$

$$\text{II: } \beta_B \geq \beta_T = 2\pi, \quad (2)$$

$$\text{III: } H_B \geq H_T = h_{mp} = H_{coop} - H_{unp} + h_{cmp} + \Delta h + h_{zp}, \quad (3)$$

при $H_B = H_B(R_B)$, см. рис. 1.

Здесь приняты обозначения:

R_B, H_B, β_B – соответственно возможные радиус вылета, высота подъема крюка крана и угол поворота стрелы, т. е. некоторые граничные характеристики пространства возможностей машины;

R_T, H_T, β_T – требуемые дальности подачи груза по горизонтали, высоте (измеряемые до крюка) и углу поворота стрелы, т. е. пространство требований;

l_{mp} – дальность подачи груза по горизонтали;

b_k и Δb_k – колея крана и выступание его габарита за колею с одного борта;

a и B_{coop} – расстояние от габарита крана до сооружения и его ширина;

N_T – требуемое число кранов (в первом приближении 1 – на блок, 2 – на сооружение);

Δl – запас вылета крюка, зависящий от конфигурации сооружения в плане, в частности, от его длины, определяемый графически;

H_{coop}, h_{cp} и $h_{стр}$ – высоты сооружения, груза (с тарой) и стропов;

$H_{унр}$ – превышение уровня стоянки крана над основанием сооружения, включая высоту эстакады;

Δh – запас высоты подъема груза с учетом возможных выступов опалубки, шатров и других устройств.

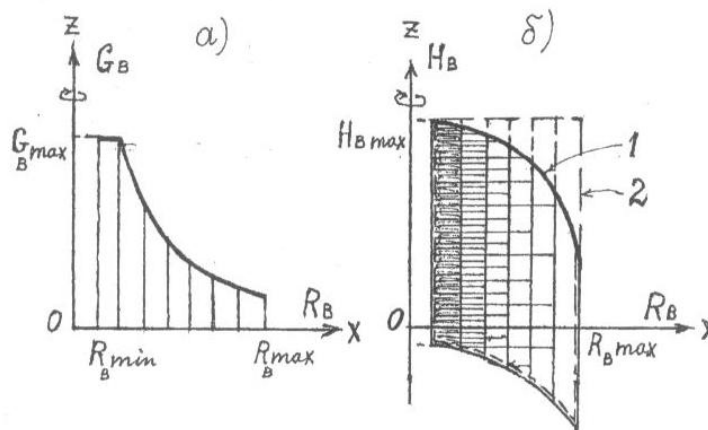


Рисунок 1. Пространство возможностей крана в зависимости от вылета крюка R_B : а – грузоподъемности G_B , б – высоты подъема крюка H_B : 1 – для наклоняемой стрелы, 2 – для горизонтальной стрелы. Здесь густота штриховки характеризует качество пространства (в частности, грузоподъемность).

$$\text{IV-1: } \frac{1}{T_{Bi}} \geq \frac{1}{T_{Ti}}, \quad (4)$$

где T_i – затраты времени на подготовительные и непредвиденные операции (доставка крана, монтаж, перестановка, перебазирование, технический уход, ремонт, замена и т. п.).

$$\text{IV-2: } G_B \geq G_T = G + G_{тары} + G_{стр}, \quad (5)$$

$$v_{iB} \geq v_{iT}, \quad \dot{v}_{iB} \geq \dot{v}_{iT} \quad (5a)$$

$$\frac{1}{\Delta X_B} \geq \frac{1}{\Delta X_T} \quad (5b)$$

при $G_B = G_B(R_B)$, см.рис. 1,

где $G_B, v_{iB}, \dot{v}_{iB}$ – грузоподъемность, скорость и ускорение движения крюка и крана на i -ом участке (с индексом «т» – их требуемые величины),

G – требуемая масса полезного груза,

$G_{тары}$ – масса тары,

$G_{стр}$ – масса стропов,

ΔX – величина отклонения подачи груза от проектной точки.

Здесь рекомендуется иметь в виду соотношение:

Булатов Г.Я. Обобщенные критерии оптимального выбора технологий и машин

Здесь рекомендуется иметь в виду соотношение:

$$G = mG_{mp}, \quad (6)$$

где G_{mp} – масса груза на транспортном средстве доставки к крану,

m – кратность приема груза краном (0,5; 1,0; 2,0; ...).

$$\text{V:} \quad K_{CB} \geq K_{CT} \quad (7)$$

где K_C – степени сохранения груза как по количеству, так и по качеству, на всех операциях (загрузка, перенос, выгрузка).

$$\text{VI:} \quad K_{3B} \geq K_{3T}, \quad (8)$$

где K_3 – коэффициент запаса крана на опрокидывание с учётом уклона и деформируемости основания при неблагоприятном сочетании возможных нагрузок.

$$\text{X:} \quad \frac{1}{M_B} \geq \frac{1}{M_T}, \quad (9)$$

$$\frac{1}{q_B} \geq \frac{1}{q_T}, \quad (9a)$$

$$\frac{1}{m_B} \geq \frac{1}{m_T}, \quad (9b)$$

где M и m – соответственно масса крана и его вращающихся частей,

q – удельный расход топлива (энергии).

Выбор автомобилей

Автомобили относятся к транспортным машинам, которые перемещаются вместе с грузом. Основные критерии выбора остаются общими. Наиболее близкими здесь являются приведённые выше критерии выбора кранов. Ниже приведены лишь специфические дополнения к ним.

$$\text{III:} \quad i_B \geq i_T, \quad (1)$$

$$\frac{1}{r_B} \geq \frac{1}{r_T}, \quad (1a)$$

$$\frac{1}{h_B} \leq \frac{1}{h_T}, \quad (1b)$$

где i и r – уклоны и радиусы поворота пути,

h – мостовые, туннельные и другие путевые ограничения по габаритам, грузоподъёмности и т. д.

$$\text{IV:} \quad Q_B \geq Q_T, \quad (2)$$

$$G_B \geq G_T, \quad (2a)$$

при

$$G = Q \cdot \rho, \quad (2b)$$

где Q , G и ρ – объем, масса и плотность груза.

При этом:

$$Q_T \text{ (или } G_T) = mQ'_T \text{ (или } G'_T). \quad (3)$$

Здесь m – число принимаемых единичных грузов (ящиков, контейнеров, бадей, ковшей грунта, замесов бетонной смеси и т. п., подаваемых на один автомобиль).

Q'_T (или G'_T) – объём (или масса) единичного груза.

Выбор технологий строительства каналов в выемке и насыпи

Технологические схемы представлены на рис. 2.

Технология 1 (поперечное перемещение грунта бульдозерами) применяется на участке канала в выемке-насыпи, ограниченном по длине канала точками пересечения поверхности земли с основанием канала и с гребнем дамбы.

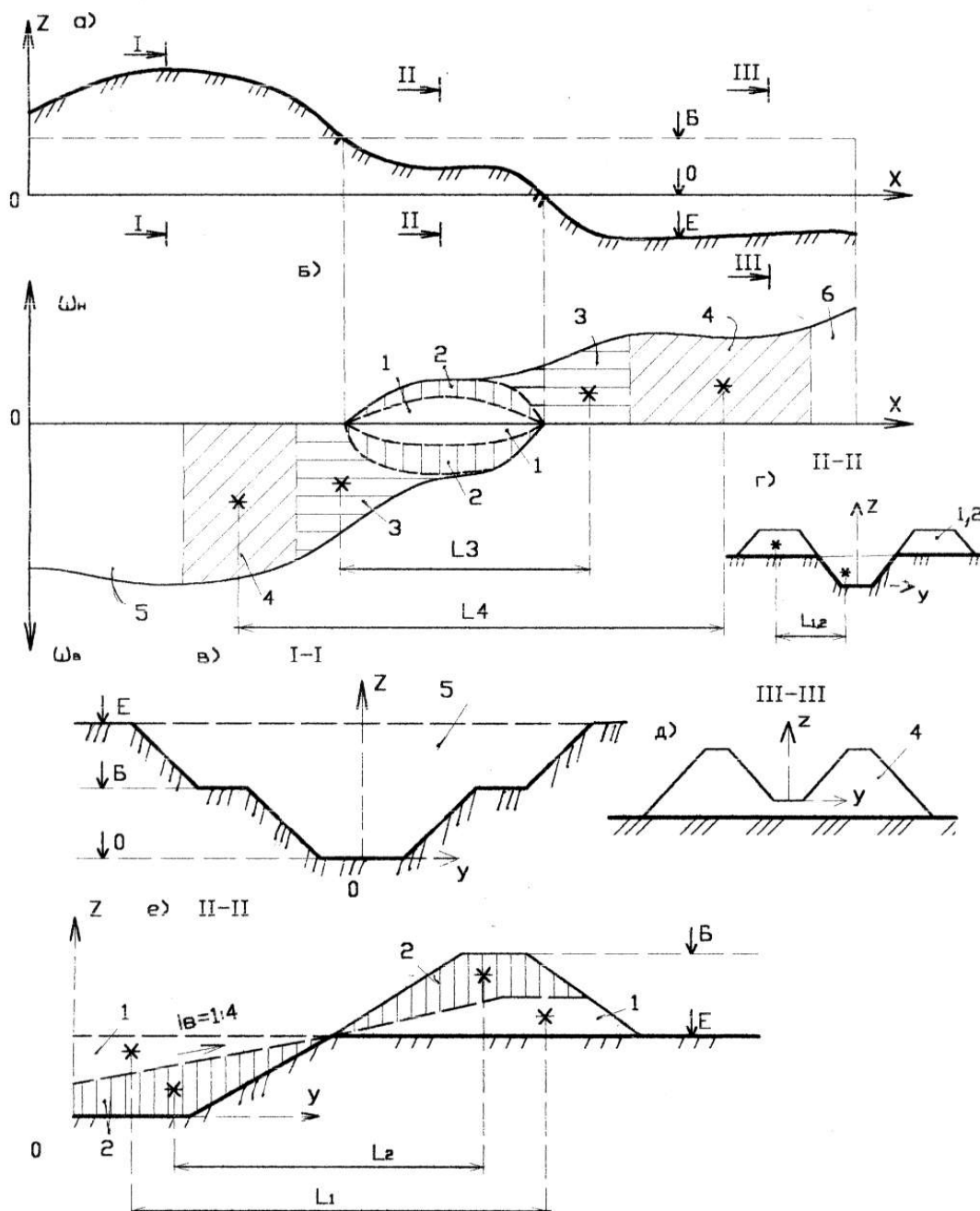


Рисунок 2. К выбору технологии строительства канала: а – продольный разрез; б – эпюры площадей поперечных сечений выемки $\omega_{в}$ и насыпи $\omega_{н}$; поперечные разрезы: в – в выемке; г – в выемке-насыпи; д – в насыпи; е – в выемке-насыпи (крупно).

Граница разработки выемки по глубине определяется поперечным уклоном $i_B = 1/3 \dots 1/4$, преодолеваемым бульдозером при транспортировании грунта со средней дальностью L_1 между центрами тяжести масс выемки и насыпи.

Доработку выемки канала здесь производят по **технологии 2** (поперечное перемещение грунта скреперами). При этом при наборе грунта скреперы перемещаются вдоль оси канала.

На примыкающих к рассмотренному участкам канала используется **технология 3** (продольное перемещение грунта скреперами из выемки канала в насыпь дамбы). При этом длины участков выбираются из условий равенства масс грунта в выемке и насыпи и расстояния между их центрами тяжести, равного оптимальной дальности транспортирования грунтов скреперами.

Технология 4 (экскавация и перемещение грунта вдоль каналов автосамосвалами) применяется на участках, расположенных за участками работы скреперов. Разумеется, здесь может использоваться и конвейерный транспорт.

Технология 5 предусматривает выемку грунта и направление его в отвал непосредственно экскаваторами или с применением транспортных средств.

Технология 6 требует доставки грунта в дамбы канала из резерва или из ближайшего карьера.

Расстояния L_i перемещения грунта в различных технологиях зависят от условий строительства и выбираются оптимальными для соответствующих транспортных средств и траекторий их движения. Выбор машин производится на основании обобщенных критериев.

Основы расчета числа машин

Все машины в технологической цепи можно разделить на ведущие и ведомые. К звену **ведущих** отнесем машины, имеющие следующие признаки:

- а) наиболее дорогие и сложные машины;
- б) определяющие интенсивность работ;
- в) стоящие в начале технологической цепи;
- г) загруженные на полную мощность.

Машины ведущие – это, например, экскаваторы в земляных работах, смесители – в бетонных. Однако их выбор может быть всегда уточнен технико-экономическим сравнением вариантов. Машины в остальных звеньях цепи отнесем к **ведомым**. Поскольку число машин всегда является целым числом, то ведомые машины могут быть и недогруженными, т. е. их потенциальная производительность не может быть полностью использована.

В зависимости от конкретных условий проекта **расчетное число ведущих машин** можно определять различными методами:

I. – по интенсивности J' (или скорости) выполнения работ одной машиной

$$N_{\text{вц}}^p = J^p / J', \quad (1)$$

II. – по объему работ V' , выполняемому одной машиной,

$$N_{\text{вц}}^p = V / V', \quad (1a)$$

III. – по продолжительности работ T' , выполняемых одной машиной,

$$N_{\text{вц}}^p = T' / T^p, \quad (1б)$$

где $J' = \Pi$ – эксплуатационная производительность одной машины,

$V' = W$ – выработка одной машины за срок строительства,

T' – время выполнения всего объема работ одной машиной.

Практически **расчетная интенсивность работ (поток)** определяется по выражению

$$J^p = \frac{V}{T^p} K_{нер}, \quad (2)$$

где V – объем работ,

T^p – расчетная продолжительность их выполнения,

$K_{нер}$ – коэффициент неравномерности интенсивности работ, учитывающий конкретные условия строительства и временной уровень рассмотрения (с, мин, час, смена...).

Проектное число ведущих машин принимается из следующих условий:

$$\left. \begin{array}{l} 1) N_{вц}^n = E - \text{целое число,} \\ 2) N_{вц}^n \rightarrow N_{вц}^p - \text{т. е. стремится к расчетному, но может быть и} \\ \quad \text{больше и меньше его,} \\ 3) N_{мин} \leq N_{вц}^n \leq N_{макс}, \\ 4) N_{вц}^n \rightarrow N_{мин}, \end{array} \right\} (3)$$

Из условия надежности технологического процесса

$$\text{VIII-2: } N_{мин} \rightarrow 2. \quad (3a)$$

Из условия возможности размещения машин

$$\text{VIII-3: } N_{макс} \leq \Phi / \Phi', \quad (3b)$$

где Φ – возможный фронт работ на объекте (в любых измерителях),

Φ' – фронт, требуемый для эффективной работы одной машины.

При этом **проектный поток**

$$J^n = \Pi_{вц} \cdot N_{вц}^n \quad (4)$$

и проектный срок строительства (с учетом коэффициента запаса)

$$T^n = \frac{V}{J^n} \cdot K_{нер} \cdot K_{зап}. \quad (4a)$$

Расчетное число ведомых машин

$$N_{вм}^p = J^n / \Pi_{вм} \quad (5)$$

и проектное

$$N_{вм}^n \geq N_{вм}^p \quad (5a)$$

при выполнении условий (3).

В заключение отметим, что недостаточное внимание к расчетам числа машин приводит к большим потерям времени и ресурсов.

*Георгий Яковлевич Булатов, Санкт-Петербургский государственный политехнический университет

Тел. раб. 297-59-49